Aus der Chirurgischen Klinik und Poliklinik
der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. L. Koslowski

AUTOGENE UND ALLOGENE KNOCHENTRANSPLANTATIONEN BEHANDLUNGSERGEBNISSE 1971–1982

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der
MEDIZINISCHEN FAKULTÄT
(Klinische Medizin)
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von

Bernhard Weidle
aus Laiz-Sigmaringen

1984

Aus der Chirurgischen Klinik und Poliklinik
der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. L. Koslowski

AUTOGENE UND ALLOGENE KNOCHENTRANSPLANTATIONEN BEHANDLUNGSERGEBNISSE 1971–1982

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der
MEDIZINISCHEN FAKULTÄT
(Klinische Medizin)
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von

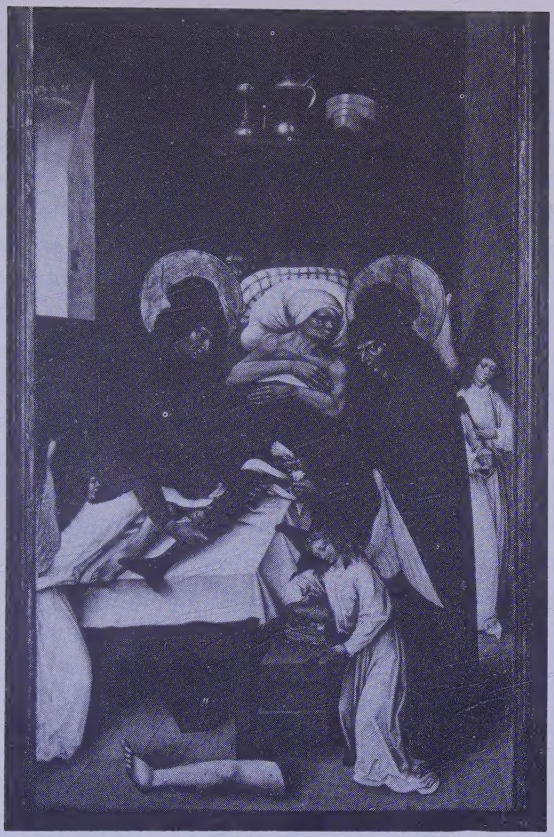
Bernhard Weidle
aus Laiz-Sigmaringen

1984

Dekan: Professor Dr. H. D. Waller
1. Berichterstatter: Professor Dr. D. Veihelmann
2. Berichterstatter: Professor Dr. J. Gekeler

Offsetdruck Spengler
Lessingstraße 4 · 7401 Neustetten 1
Telefon (0 74 72) 2 21 45

Meinen Eltern gewidmet



Das Wunder des schwarzen Beines der Heiligen Kosmas und Damian.
Schwäbisch (Ditzingen, Krs. Leonberg), Ende des 15. Jhdt.

Abdruck mit freundlicher Genehmigung des Württembergischen Landesmuseums Stuttgart.

"Es was ein babst zů Rom der hett die heÿligen gar lieb sant Cosman vnd Damianum. vnd bawet Jn ein kirchen der pflag ein gůter man lang vnd eret die heÿligen mit fleiß. Der man gewan ein bőß bein do erczneiet er vil an, dz halff jn alles nit. do lag er eines nachts vnd schlieff do sahe er in einem gesicht leiblichen daz zwen heiligen zů jm kamen die trůgen salb vnd scharpffe eÿsen vnd růrten jm sein bein an. vnd sprach einer zů dem andern wo wől wir ein bein nemen an des stat. do sprach er ein. man hat heut ein schwarczen moren begraben des bein seind gar frisch. do sprach der ander So bring es bald. do schneid er dem moren ein bein ab vnd setzet jm das moren bein hin an vnd salbten jm das bein überal vnd legten das bőß bein zů dem moren in das grab. Vnd do der man erwachet do empfand er keines weetagen mer. do stůnd er auff vnd hieß seind gesind ein liecht bringen vnd saget überal wie jm geschehen wår da lieffen die leüt zů dem moren vnd sahen dz bőß bein da ligen dz dem mann ab geschnitten was vnd freüeten sich mit dem mann des grossen zeichens dz an jm geschehen was vnd danckten got vnd den lieben heiligen Cosme vnd Damiano vnd ereten sÿ mit fleiß".

Aus ..."der heiligen leben..." Urach 1481.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung 1
2. Geschichtliche Entwicklung der Knochentransplantation 3
3. Terminologie der Knochentransplantation 7
4. Physiologische Grundlagen 1o
4.1. Osteogenese 1o
4.2. Revaskularisierung 12
4.3. Immunologie 13
4.4. Schleichender Ersatz 15
4.5. Unterschied spongiöser und kompakter Transplantate 15
5. Klinische Anwendung der physiologischen Erkenntnisse 17
5.1. Transplantatlager 17
5.2. Transplantat 18
5.2.1. Wertigkeit 18
5.2.2. Biomechanische Funktion 19
5.2.3. Vitalität 19
6. Indikationen 21
7. Kontraindikationen 25
8. Komplikationen 25
8.1. Komplikationen an der Entnahmestelle 25
8.2. Komplikationen am Transplantatlager 27
9. Technik der Entnahme 29
1o. Knochenbank 32
1o.1. Spenderauswahl 32
1o.2. Entnahme 33
1o.3. Lagerung 33
11. Technik der Transplantation 36
11.1. Postoperative Maßnahmen 36
12. Verlaufsbeobachtung 37
13. Modifikationen des Verfahrens 38
13.1. "Autologisierung" 38
13.2. Fibrineinklebung 38

14. Ergebnisse der eigenen Untersuchung 39
14.1. Methodik 39
14.2. Transplantation im septischen Indikationsbereich 4o
14.3. Alter und Geschlecht der Patienten 4o
14.4. Übersicht über die Indikationsbereiche 42
14.5. Lokalisation des Transplantatlagers in den einzelnen Indikationsbereichen 45
14.6. Herkunft des Knochenmaterials 47
14.7. Entnahmestelle bei autogener Transplantation ... 48
14.8. Anlagerungsart des Knochentransplantats 49
14.9. Funktion des Transplantats 5o
14.1o. Art der Stabilisierung 52
14.11. Zusätzliche therapeutische Maßnahmen 53
14.12. Komplikationen an der Entnahmestelle bei autogener Transplantation 54
14.13. Art der Komplikationen am Transplantatlager ... 56
14.14. Komplikationsrate am Transplantatlager 58
14.15. Einheilungsergebnisse 59
14.16. Vergleich autogener mit allogener Transplantation 62
14.17. Wiederholungsoperationen 64
14.18. Vollbelastung 65
14.19. Beschwerden nach Abschluß der Behandlung 65
14.2o. Minderung der Erwerbsfähigkeit 67
15. Radiologische Beurteilung der Einheilungsvorgänge. 68
15.1. Phasen der Transplantateinheilung nach radiologischen Gesichtspunkten 68
15.2. Kriterien für Beurteilung der Einheilungsphasen im Röntgenbild 69
15.3. Zeitlicher Ablauf der Transplantateinheilung: Ergebnisse 7o
15.4. Problematik der radiologischen Beurteilung 71
16. Kasuistik 73
17. Diskussion 94
18. Zusammenfassung 98
19. Literatur 1oo
2o. Anhang 11o

1. Einleitung

Der Text der Vorseite ist eine frühe deutsche Fassung eines Wunderberichtes, den Jakobus von Voragine im 13. Jahrhundert in der "Legenda aurea" überliefert hat (Zit. FICHTNER, 1968). Kosmas und Damian, der Legende nach Zwillinge und heilige Märtyrer, sind aufgrund ihrer ärztlichen Ausbildung und verschiedener Heilungswunder zu den Schutzpatronen des Ärztestandes geworden, eine Eigenschaft, in der sie auch im Wappen der medizinischen Fakultät der Universität Tübingen vertreten sind (TRÜB, 1978). Die ursprünglich große Bedeutung ihres Kultes zeigt, daß ihnen die alte Basilica am Forum in Rom durch Papst Felix IV. (526-53o n.Chr.) geweiht wurde (DENZNER, 19o7), worauf auch die Legende anspielt. Ohne die Funktion einer Heiligenlegende zu verkennen, der es darauf ankommt, die wunderbare Kraft Gottes und der Heiligen zu demonstrieren, überrascht in der oben zitierten Darstellung die Anschaulichkeit und Liebe am Detail, mit der einzelne medizinische Fakten erzählt werden.
Sicher handelt es sich dabei nicht um die Darstellung eines historischen Transplantationsversuches im Gewand einer Legende. Anhand von Textvergleichen zeigt FICHTNER (1968), daß aber sehr wohl die geschilderte Heiltechnik als Idee einer Transplantation angesehen werden kann, und zwar in Analogie zu der schon damals wohlbekannten botanischen Erfahrung des Pfropfens von Obstbäumen.*
Daß die Originalität dieser Vorlage viele Maler der Renaissance zur Darstellung dieser kuriosen chirurgischen Intervention inspiriert hat, ist nicht weiter verwunderlich. Ein Beispiel dafür befindet sich ganz in der Nähe im Württembergischen Landesmuseum in Stuttgart. Es ist ein anonymes Werk des XV. Jahrhunderts aus Ditzingen Kreis Leonberg.

---

* Vgl. dazu auch den englischen Ausdruck für Transplantation "grafting", der den gleichen botanischen Ursprung hat.

Unter der Assistenz von drei Engeln setzen die beiden Ärzte das Bein des Negers an; das resezierte kranke Bein liegt am Boden. Der eine Arzt bindet das Bein mit einer Schlinge ab, möglicherweise zur Vermeidung von zu großen Blutverlusten. Einer der Engel hält den Salbentopf in den Händen, der andere reicht aus einem Körbchen die chirurgischen Instrumente.
Auch in heutiger Zeit sind Knochentransplantationen ein packendes Thema geblieben.
Eine immense Anhäufung von Publikationen zu diesem Thema zeigt die große Bedeutung des Problems in Orthopädie und Unfallchirurgie. Abgesehen von Bluttransfusionen ist Knochen das am häufigsten transplantierte Gewebe des Körpers. Gewebebanken benötigen viel mehr Einheiten von Knochengewebe als von Haut, Fascien, Sehnen, Gefäßen oder jeglichem anderen Körpergewebe (McLEAN, 1968).
Zahlreiche Autoren haben die Überlegenheit der autogenen Spongiosaplastik im Vergleich mit allen anderen Transplantationsformen hervorgehoben; infolge ihrer mengenmäßigen Begrenztheit sowie des notwendigen Zweiteingriffes ist im ersatzstarken Lager die allogene Spongiosa eine wichtige Alternative.

Grundlage der vorliegenden Arbeit sind die in den Jahren 1971 bis 1982 in der Chirurgischen Universitätsklinik Tübingen durchgeführten autogenen und allogenen Knochentransplantationen. Im ersten Teil werden die Probleme der Knochentransplantation mit besonderer Berücksichtigung der Spongiosaplastik anhand der Literatur beschrieben.
Im zweiten Teil werden die statistisch gewonnenen Ergebnisse dargestellt und ihre Bedeutung diskutiert.
Im dritten Teil wird über die Beurteilung von Einheilungsverläufen mittels radiologischer Kriterien berichtet.

2. Geschichtliche Entwicklung der Knochentransplantation

Nach dem legendären Beginn der Geschichte der Knochentransplantation war ihr weiterer Verlauf nicht weniger farbig. LEXER (1924) berichtet von einer durch Job-a-Meek'ren 1682 überlieferten Heilung eines Schädeldefektes nach Säbelhieb bei einem russischen Adligen, durch Verpflanzung eines entsprechenden Knochenstückes von einem Hundeschädel. Leider mußte trotz erfolgreicher Einheilung das Knochenstück wieder entfernt werden, da die Kirche diese Behandlungsmethode als ketzerisch ablehnte.

Aber auch noch 3oo Jahre später mußte sich LEXER mit ähnlichen ideologischen Problemen auseinandersetzen; er schreibt wörtlich: "Ein ähnlicher Religionseifer spukt aber auch heute noch. So verhetzte man meine ersten Kranken, an denen ich große Knochen- und Gelenktransplantationen aus amputierten Gliedern vorgenommen hatte. Es bedurfte energischen Auftretens, um die Folgen abzuwenden. Nur bei einem polnischen Juden, der wegen des Einheilens eines christlichen Knochens (oberes Drittel der Tibia samt Gelenkfläche aus einem frisch amputierten Gliede) durch religiöse Zweifel in schwere Neurose verfiel, mußte ich die Amputation vornehmen, trotzdem die Ausheilung mit voller Gebrauchsfähigkeit des Beines und normaler Beweglichkeit des Kniegelenks vonstatten gegangen war. Und all dies 19o6 und 19o8!" (LEXER, 1924, S. 1).

Als erster, der das Problem der Knochenneubildung wissenschaftlich in Angriff nahm, gilt der Botaniker DUHAMEL DE MONCEAU (1742). Er konnte im Tierversuch zeigen, daß subperiostal verpflanzte Silberdrahtringe nach einigen Wochen von Knochen bedeckt waren. Mit der Schlußfolgerung aus seinen Experimenten, daß der neu gebildete Knochen aus dem Periost entstanden sei, befand sich DUHAMEL im Widerspruch zur damaligen Lehre. In der Tradition der galenischen Säftelehre stehend, vertrat VON HALLER (1763) mit seiner ganzen wissenschaftlichen Autorität die Ansicht, neuer Knochen entstehe durch Verdrängung von Knorpel, der seinerseits

durch einen Knochensaft (Succus ossificus), der aus den Fragmentenden sickere oder durch Exsudation der Periostarterien entstünde und zu Knorpel umgebaut werde. Dem Periost maß er keinerlei regenerative Funktion zu. So wurden DUHAMELs Lehren weitgehend vergessen und erst 1oo Jahre später erfolgte der Versuch einer wirklich systematischen Untersuchung der Phänomene der Knochenneubildung durch OLLIER (1867). Er kam zu dem Schluß, daß unter günstigen Ernährungsbedingungen das gesamte transplantierte Knochengewebe am Leben bleiben könne und maß besonders dem Periost, aber auch Endost und Mark regeneratorische Fähigkeiten zu. Die beste Transplantationsform sei autologer, lebender periostbedeckter Knochen.
Dem widersprach BARTH (1893) mit der Ansicht, daß sämtlicher transplantierter Knochen sowie Periost absterbe, und durch das umgebende Knochengewebe ersetzt würde. Daher gebe es auch keinen Unterschied in der Einheilung, weder zwischen autogenen, allogenen, xenogenen Transplantaten noch alloplastischem Material wie Elfenbein; für den Prozess der Einheilung sei lebendes und totes Material histologisch gleichwertig. G. AXHAUSEN (19o8 und 19o9) dagegen bestätigte erneut die schon von OLLIER angegebene unterschiedliche Wertigkeit verschiedener Transplantate in der Reihenfolge ihrer osteogenen Aktivität: autoplastische, homoioplastische und heteroplastische Transplantation; die letztere besitze praktisch überhaupt keine osteogene Potenz.
Er verband allerdings die Vorstellungen OLLIERs und BARTHs insofern, als er als Quelle der Knochenneubildung in erster Linie das überlebende Periost, in zweiter Linie Teile des mitverpflanzten Knochenmarkes und erst an dritter Stelle und nur bei ossifikationsfähigem Transplantatlager das Lagergewebe ansah, während das eigentliche Knochengewebe abstürbe.
Diese Lehrmeinung, daß die Regeneration nach freier Knochentransplantation das Werk spezifischer transplantierter Zellen sei, setzte sich zunächst einmal als "klassische Osteoblastenlehre" durch. Doch gab es in der Folgezeit

viele Versuche durch Extraktion aus Knochensubstanz und Periost eine Substanz zu isolieren, die fähig wäre, Knochenbildung anzuregen. Dem lag die Auffassung zugrunde, daß umliegendes Gewebe durch die transplantierte Knochensubstanz zur Ausdifferenzierung in osteogenetisch aktive Zellen veranlaßt würde (LEVANDER 1938, ANNERSTEN 194o). Diese beiden Einheilungstheorien - Osteogenese durch überlebende transplantierte Zellen versus Induktion mit Umwandlung des Lagergewebes zu Knochengewebe - prägten die wissenschaftliche Auseinandersetzung bis W. AXHAUSEN (1952) im Tierexperiment die Verbindung beider Theorien erbrachte. Er zeigte einen zweiphasigen Ablauf der Osteogenese: bei autologer Knochentransplantation tragen überlebende Zellen schon nach wenigen Tagen zur Knochenbildung bei (osteoblastische Phase). Verzögert kommt es durch Induktion durch das überpflanzte Gewebe, im Lager zur Differenzierung von knochenbildendem Gewebe (zweite Phase, sogenannte induzierte Osteogenese).

Die ersten klinischen Erfolge nach diesen theoretischen Erkenntnissen brachten einen großen Aufschwung der Knochentransplantationen. Die von LEXER propagierten Methoden wurden vielerorts durchgeführt, jedoch oft mit Mißerfolgen. Der Hauptgrund dafür ist wohl in den mangelnden Möglichkeiten zur Fixierung und damit Ruhigstellung des Transplantates zu sehen. Da die heutigen Osteosynthese-Verfahren damals nicht zur Verfügung standen, gewann die Spongiosaplastik zunehmend an Bedeutung, wie sie MATTI (1932 und 1936) in Bern bereits 1932 beschrieben hatte. Er benutzte diese Technik vor allem zur Behandlung von Pseudarthrosen, um die mangelnde Regenerationskraft des Knochens im Pseudarthrosenbereich durch regenerationsfähiges Material (autogene Spongiosa) zu verbessern. Durch seine hervorragenden Ergebnisse wurde die Transplantation autogener Spongiosa als jeder anderen Knochentransplantation überlegen erkannt.
Zur allgemeinen Verbreitung dieser Transplantationsform kam es allerdings erst nach Einführung von Verfahren zur

stabilen Osteosynthese, da der Einbau der Transplantate bei mechanischer Instabilität erheblich gestört wird.

3. Terminologie der Knochentransplantation

Bereits beim Studium der geschichtlichen Entwicklung der Knochentransplantation fällt die unterschiedliche Verwendung der Terminologie auf. Ab Mitte der Sechziger Jahre setzte sich eine Revision der verwendeten Begriffe durch. Zur Klärung werden in Tabelle 1 die wichtigsten Termini aufgeführt. Da ein Großteil des Schrifttums auf Englisch ist, erscheint es sinnvoll, auch die englischen Bezeichnungen anzugeben.

Eine einheitliche, allgemein anerkannte Definition der Begriffe Implantat und Transplantat, im Englischen "Implant", "Transplant" und zusätzlich noch "Graft", existiert nicht. "Graft" (wörtlich: Pflänzling) ist ein Begriff, der aus der Botanik entlehnt wurde. "Grafting" ist das Pfropfen von Bäumen. Es wird entweder als gemeinsamer Oberbegriff für "transplant" und "implant" verwendet oder als Synonym für "transplant". Bis zur Definition einer allgemein verbindlichen Terminologie empfiehlt FRIEDLAENDER (1983), sich an den Begriffen von URIST (1980) zu orientieren. Dieser unterscheidet "implant" als Übertragung nicht vitalen Materials von "graft" als Übertragung vitalen Materials. "Implant" umfaßt dabei

1) devitalisiertes (non viable) Gewebe infolge Tiefkühlung, Gefriertrocknung oder Bestrahlung.
   Beispiel: konservierter Bankknochen;
2) devitalisiertes chemisch und/oder physikalisch zur Antigenextrahierung oder zu Sterilisierungszwecken behandeltes Gewebe.
   Implantate aus chemisch sterilisiertem und antigenextrahiertem Knochen sind jedoch im strengen Sinne nicht mehr als Knochen, sondern als Knochenderivate zu beschreiben.
   Beispiel: AAA-Bone, Kiel-Bone;
3) total inertes Material. Beispiel: Metall oder Kunststoff.

Tabelle 1 Transplantationsterminologie

Alte Terminologie	Neue Terminologie	Adjektiv dazu	Spender
Autologes Transplantat Autograft	Autogenes Transplantat Autograft	autogen Autogeneic	gleiches Individuum
Isologes Transplantat Isograft	Isogenes Transplantat Isograft	isogen Isogeneic	eineiige Zwillinge oder Inzuchtstämme
Homologes Transplantat Homograft	Allogenes Transplantat Allograft	allogen Allogeneic	gleiche Spezies (z.B. Mensch- Mensch)
Heterologes Transplant. Heterograft	Xenogenes Transplantat Xenograft	xenogen Xenogeneic	verschiedene Spezies (z.B. Rind- Mensch)

modifiziert nach RUSSEL, P.S. und MONACO, A.P.: The Biology of Tissue Transplantation, Boston 1965
Zit. bei URIST, M.R.: Bone Transplants and Implants, in URIST, M.R. (ed.): Fundamental and Clinical Bone Physiology, Philadelphia 198o, S. 332

"Graft" wird entsprechend komplementär zu "implant" als Übertragung vitalen Gewebes definiert. Die Vitalität kann unterschiedlich definiert sein, zumeist als Vitalität der überpflanzten Zellen aber auch noch als irgendeine biologische Aktivität oder Potenz des Gewebes.
Im deutschen Sprachgebrauch wird der Begriff Transplantat als Oberbegriff verwendet, Implantat meint in der Regel inertes Material wie Metall. Übertragenes tiefgefrorenes allogenes Gewebe aus der Knochenbank wäre nach URIST als "Alloimplantat" anzusprechen. Entsprechend des deutschen Sprachgebrauchs wird in dieser Arbeit dafür der Begriff "allogene Transplantation" verwendet. Transplantation (Transplantat) als Oberbegriff umfaßt dabei jegliche Verpflanzung von Knochenmaterial, nicht dagegen inertes Material.
LEXER (1924) verwendete noch den Begriff Alloplastik für die Überpflanzung anorganischen Materials wie Kunststoff oder Metall. Nach moderner Nomenklatur würde besser der Begriff Implantation verwendet werden, um Verwechslungen mit allogener Transplantation zu vermeiden.
Bei der verwirrenden Vielfalt kontrovers verwendeter Begriffe ist es unumgänglich, bei jeglicher Publikation die einzelnen Definitionen genau zu beachten bzw. selbst anzugeben, um zu wissen, was jeder einzelne Autor damit meint.

4. Physiologische Grundlagen der Knochentransplantation unter Berücksichtigung der neueren Literatur

4.1. Osteogenese

Für die Knochenneubildung bei der Transplantation autogenen Knochenmaterials kommen prinzipiell zwei Faktoren ursächlich in Frage:
1) überpflanzte Knochenzellen (Osteoblasten) bleiben am Leben und bedingen durch Proliferation die Vitalität des Transplantates (Osteoblastenlehre);
2) überpflanztes Knochengewebe regt unspezifisches Mesenchymgewebe des Empfängerlagers zur Ausdifferenzierung in Zellen mit knochenbildender Leistung an (Induktionslehre).
Anhand histologischer Untersuchungen kältebehandelter, autogen verpflanzter Knochenstücke bei Hunden erkannte AXHAUSEN (1952) später CHALMERS (1959) und BURWELL (1965), die Bedeutung des Zusammenwirkens beider Faktoren und formulierte seine Zweiphasentheorie der Knochenregeneration.
GOLDHABER (1961) zeigte bei Mäusen die Entstehung neuer Knochensubstanz um in Milliporefilterkammern subcutan verpflanztes allogenes Knochengewebe herum als Leistung des Wirtslagers. Durch vorherige Immunisierung der Tiere, was zur Zerstörung aller Zellen geführt hätte, die wider Erwarten und unentdeckt die eigentlich zellundurchlässigen Diffusionskammern hätten passieren können, wies er die Existenz eines diffundierbaren Induktors der Osteogenese nach.
RAY und SABET (1963) gelang es, das Überleben von transplantierten Zellen und deren osteogenetische Aktivität durch mit Tritium radioaktiv markiertes Thymidin bei Versuchen mit Mäusen nachzuweisen.
SCHRAMM (197o) konnte durch Tetrazyklinmarkierung im Tierversuch an Hunden eine bereits vier Tage nach Überpflanzung vom autogenen Transplantat ausgehende Knochenbildung zeigen.

Demnach ist die erste (frühe) Phase der Osteogenese eine Leistung der übertragenen und danach proliferierenden Osteoblasten. Die zweite, später einsetzende Phase ist durch den Abbau der überpflanzten Knochengrundsubstanz durch Osteoklasten gekennzeichnet, wobei der Mucopolysaccharidkomplex dieser Grundsubstanz eine Induktion der unspezifischen Zellen des ins Transplantat einsprossenden Lagergewebes zu Osteoblasten bewirkt. Die kollagenen Fibrillen und Apatitkristalle dieser sogenannten ungeformten, intercellulären Grundsubstanz des Knochens werden phagozytiert (SCHWEIBERER, 1971).

Nach SCHWEIBERER (197o) ist dabei die induktive Leistung von der unveränderten Grundsubstanz des Knochens abhängig. Wenn ihr durch Macerieren, Kochen oder Glühen der Komplex der Mucopolysaccharide entzogen wird, ist eine Anregung von Knochenneubildung nicht mehr möglich. Während die meisten Autoren (AXHAUSEN 1952, SCHWEIBERER 197o u.v.a.m.) den überlebenden transplantierten Knochenzellen die größere Bedeutung beimessen, wird in jüngster Zeit den induktiven Vorgängen mehr Beachtung geschenkt.

URIST (1983) konnte ein Glykoprotein aus der Knochenmatrix biologisch charakterisieren, das sogenannte Bone Morphogenetic Protein (BMP), das die Differenzierung mesenchymaler Zellen des Transplantatlagers zu osteogenetisch aktiven Zellen veranlasse.

Dieser Vorgang, wobei ein Gewebe veranlaßt wird, osteogene Elemente zu bilden, wird als Osteoinduktion bezeichnet. Induktion allgemein erfordert einen induzierenden Stimulus z.B. ein Knochenstück oder eine osteogene Zelle und eine für die Osteogenese günstige Umgebung (BURCHARDT, 1983). Nach Untersuchungen von HEIPLE (1968) mit Ratten und Mäusen ist die induzierende Substanz diffundierbar, ihre effektive Aktionsdistanz ist nur gering (weniger als 15o µ). Die Art und Weise ihres Transfers, ihre Wirkung, sowie der Sitz eventueller Rezeptoren sind noch unbekannt, aber unter intensiver Erforschung (URIST 198o).

4.2. Revaskularisierung

Neben der Osteogenese ist die Revaskularisierung des Transplantates die entscheidende Bedingung für die Einheilung. Die Geschwindigkeit der Revaskularisierung ist von den biologischen und physikalischen Gegebenheiten des Transplantates abhängig: vitale Transplantate (mit überlebenden Zellen) werden schneller revaskularisiert als devitalisierte, spongiöse schneller als kompakte (RAY, 1972).
Den Prozess des Einsprossens von Kapillaren, perivaskulären Gewebes und Osteoblasten vom Empfängerlager aus in den Pflänzling, wird als Osteokonduktion bezeichnet (URIST, 1980). Er findet auch in der Gerüstsubstanz eines nichtvitalen Materials statt. Allerdings wird bei vitalen Knochentransplantaten die Osteokonduktion durch osteoinduktive Prozesse erleichtert und läuft deshalb schneller ab, als bei nicht vitalem oder nicht biologischem Material (BURCHARDT, 1983). Dabei folgt die Knochenregeneration den Gefäßen, des in den Defekt einsprossenden Lagergewebes, sie benutzt nicht das Transplantat als vorgezeichnete Leitschiene (SCHWEIBERER, 1971).
Zusammenfassend läßt sich der Einbauprozess eines Knochentransplantates folgendermaßen beschreiben (BURCHARDT, 1983): Er ist eine Funktion des Empfängerlagers, abhängig vom innigen Kontakt mit dem Spendergewebe, von Zeitablauf und dem Gleichgewicht folgender sich gegenseitig beeinflussender Prozesse:

1) Proliferation von determinierten Präosteoblasten (Osteoprogenitor-Zellen),
2) Differenzierung von Präosteoblasten,
3) Osteoinduktion,
4) Osteokonduktion,
5) den biochemischen Eigenschaften des Pflänzlings.

4.3. Immunologie

Die geschilderten Einheilungsvorgänge gelten prinzipiell für das allogene Transplantat in gleicher Weise wie für das autogene. Allerdings setzt beim allogenen Transplantat eine immunologische Abwehrreaktion ein, die das Schicksal des Pflänzlings bestimmt.
Seit den Arbeiten von MEDAVAR (1961) und BURNET (1961) auf dem Gebiet der Transplantationsimmunologie, ist ihre These allgemein anerkannt, daß die Immunabwehr des Organismus gegen fremdes Protein die Ursache für die Abstoßungsreaktion von homogenen (nach heutiger Terminologie allogenen) Hauttransplantaten ist.
Grundsätzlich können diese Vorstellungen auf Knochentransplantationen übertragen werden. Andererseits ist bei Hauttransplantationen das Angehen ausschließlich vom Überleben der Spenderzellen abhängig. Dagegen kann beim allogenen Knochentransplantat dieses Überleben praktisch sogar die Wahrscheinlichkeit eines Angehens verringern, weil die Antigenität von Knochensubstanz mit lebenden Zellen viel größer ist als die von Knochenderivaten (McLEAN und URIST, 1968).
Die meisten Autoren lokalisieren die histoinkompatiblen Antigene allogener Knochentransplantate vor allem in den Proteinen oder Glykoproteinen der Zelloberfläche oder der Zellkerne. Eine mögliche Antigenität von Komponenten der Knochenmatrix, von allerdings geringerer Bedeutung, wird diskutiert (SCHWEIBERER, 197o; McLEAN/URIST, 1968; FRIEDLAENDER, 1972; BURCHARDT, 1983).
Die Antigene gelangen über die Lymphgefäße des Empfängers zu den regionalen Lymphknoten, wo Antikörper gebildet werden. Der Grad der Abstoßungsreaktion ist abhängig von der Konzentration und der Gesamtmenge der Antigene (BURWELL, 1963). Die Abstoßungsreaktion wird hauptsächlich als zelluläre Antwort angesehen, die humorale Komponente kann möglicherweise eine Rolle spielen (McLEAN/URIST, 1968).
Histologisch zeigt sich die Abstoßung in einer Unterbrechung der Gefäße und einem vor allem Lymphozyten-vermittel-

ten Entzündungsprozess. Das Transplantat wird von peripher her fibrös eingekapselt und resorbiert, was zu Kallusbildung, Pseudarthrosen und Ermüdungsfrakturen führt (BURCHARDT, 1983).
Abhängig von der Intensität der Abwehrreaktion kann diese fibröse Einkapselung durch Plasmazellen, Makrophagen und Retikulozyten sogar den Transfer von BMP (Bone Morphogenetic Protein) aus dem Spendergewebe ins Empfängerlager blockieren und so eine Induktion von Knochengewebe verhindern (Urist, 1983).
Nach SCHWEIBERER (1971) gehen bei einer allogenen Transplantation zwar im Verlauf der Immunantwort sämtliche übertragenen Zellen zugrunde, die Grundsubstanz bleibt aber erhalten und kann wie bei der autogenen Transplantation ihre osteoinduktive Wirkung an den unspezifischen Mesenchymzellen des Lagers ausüben und sie zu Osteoblasten induzieren. In diesem Fall setzt die Osteogenese allerdings verspätet ein und ist von geringerer Intensität.
HUTZSCHENREUTER (1972) fand in Versuchen mit Schafen und Ratten eine beschleunigte Einheilung allogener Knochentransplantate nach Präsensibilisierung des Empfängers bei stabiler Osteosynthese.
VEIHELMANN (1977) konnte diese Ergebnisse unter standardisierten Bedingungen bei Hunden bestätigen.
Demnach kann die verstärkte Abwehrreaktion des Empfängerorganismus auf ein allogenes Knochentransplantat durch den beschleunigten Abbau, unter der Voraussetzung einer gesichert stabilen Osteosynthese, auch zu beschleunigtem Umbau und damit beschleunigter Einheilung des Transplantates führen.

Fast alle Autoren fanden eine vielfach größere Antigenität von xenogenem Knochenmaterial gegenüber allogenem; dessen Verwendung wird daher im allgemeinen nicht empfohlen.

4.4. "Schleichender Ersatz"

Die Übernahme eines Transplantates in den Empfängerknochen ist ohne Umbau nicht möglich. Das Transplantat wird, soll es die erwünschte Funktion erfüllen, vollständig umgebaut und allmählich der Strukturmatrix des Transplantatlagers, entsprechend dessen funktioneller Beanspruchung, angeglichen (SCHWEIBERER, 1971).
Diese Umbauvorgänge werden heute allgemein mit dem Terminus technicus "schleichender Ersatz" nach AXHAUSEN beschrieben. Schleichender Ersatz (im angloamerikanischen Schrifttum "creeping substitution") beschreibt den Vorgang von Resorption und Apposition von Knochensubstanz, die zeitliche und räumliche Aktivität des Umbaus von Knochentransplantaten, wobei vitaler neuer Knochen alten nekrotischen ersetzt (BURCHARDT, 1983).
Ursprünglich war der Begriff "schleichender Ersatz" von BARTH (1893) in einer anderen Bedeutung eingeführt worden. Für BARTH vollzog sich der Prozess des Transplantateinbaus nicht nach dem Prinzip aufeinanderfolgenden Abbaus und Anbaus (Resorption und Apposition), sondern als direkter Ersatz des toten Knochens durch lebenden, indem junger Knochen sich im alten entwickle, jedoch ohne vorhergehende Resorption desselben, entsprechend seiner Theorie, daß jegliches transplantierte Material absterbe und von der Umgebung aus regeneriert werde (vgl. Kap. 2, S.4).

4.5. Unterschied spongiöser und kompakter Transplantate

Im kompakten Transplantat überlebt im Vergleich zum spongiösen nur eine wesentlich geringere Anzahl Spenderzellen die autogene Transplantation (URIST, 198o).
Mit überlebenden Zellen sind Osteoblasten bzw. deren Vorstufen gemeint. Die funktionell determinierten, in ihrer Entwicklung abgeschlossenen Osteozyten, sind nicht mehr teilungsfähig und gehen bei Transplantationen immer zugrunde (SCHWEIBERER, 1979).

Die Präosteoblasten und Osteoblasten proliferieren und überbrücken die Zwischenräume zwischen der Oberfläche von Transplantat und Lager: die Osteogenese wird beschleunigt. Das locker und wabig strukturierte Spongiosatransplantat wird von den eindringenden Lagerkapillaren leichter aufgeschlossen als kompakte Pflänzlinge: die Vaskularisierung wird beschleunigt (EITEL et al., 198o; BURCHARDT, 1983 u.v.a.m.)
Spongiöse Transplantate tendieren zu komplettem Einbau, kortikale dagegen verbleiben eher und länger als Mischung nekrotischen und vitalen Knochens (BURCHARDT, 1983). Schleichender Ersatz bei spongiösen Transplantaten bedeutet eine initial additive Knochenbildungsphase (Apposition), gefolgt von einer resorptiven Phase, wohingegen Kortikalispflänzlinge die Phasen in umgekehrter Reihenfolge durchlaufen (BURCHARDT, 1983). Damit korreliert auch die mechanische Stärke des jeweiligen Transplantats bei seinem respektiven Einbauprozess:
Spongiosa tendiert dazu, zunächst stärker zu werden, Kortikalis dagegen dazu, zunächst einmal weicher zu werden (SCHWEIBERER, 1981).

5. Klinische Anwendung der physiologischen Erkenntnisse

5.1. Transplantatlager

Anhand der beschriebenen Einheilungsvorgänge läßt sich die überragende Bedeutung des Transplantatlagers für die klinische Anwendung der Knochentransplantation erkennen. Zusammen mit den immunologischen Faktoren bei allogener Transplantation ist das Transplantatlager letztendlich entscheidend für das Schicksal des Transplantates.
Schon LEXER (1924) erkannte diese Problematik und beschrieb sie mit den Begriffen des ersatzstarken, ersatzschwachen und ersatzunfähigen Lagers.
Ein ersatzstarkes Lager wären zum Beispiel traumatisch oder zystisch entstandene Knochenhöhlen, in denen Transplantate im allgemeinen problemlos einheilen.
Als ersatzschwaches Lager würde z.B. das bei einer atrophischen Pseudarthrose von gefäßarmem Narbengewebe umgebene und ausgefüllte Knochengewebe gelten.
Als ersatzunfähiges Lager wären Defektpseudarthrosen oder Kontinuitätsresektionen in der Tumorchirurgie anzusehen, wo jegliches ortständige zur Osteogenese fähige Gewebe fehlt (SCHWEIBERER, 1971).
Zwei Faktoren bestimmen die Qualität des Lagers: seine Stabilität und seine Vaskularisation. Eine Knochentransplantation erfordert daher eine sorgfältige Vorbereitung des Transplantatlagers durch schonende Ausräumung von Nekrosen, hypovaskulären Narbengewebes der umgebenden Weichteile und Anfrischen des Knochengewebes (SCHWEIBERER, 1971).
Nach Studien von ALBREKTSON (1981) am Kaninchen, bietet eine minimale Traumatisierung sowohl von Transplantat wie Lager bessere Voraussetzungen für rasche Revaskularisierung.

Für die Behandlung des infizierten Lagers gelten besondere Richtlinien, die in Kapitel 6 aufgeführt werden. Die erforderliche mechanische Stabilität des Lagers kann heute in der Regel durch osteosynthetische Stabilisierung nach den Gesichtspunkten der Schweizer Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen (AO) zuverlässig erreicht werden. Sie wird in allen Fällen angewendet, wo nicht durch die Art des Defektes (z.B. Knochenzyste geringer Ausdehnung) bzw. durch die Funktion des Transplantates (z.B. Verriegelung), die mechanische Stabilität durch einfache Ruhigstellung mittels fixierender Verbände gewährleistet werden kann.

5.2. Transplantat

Bei der Auswahl des Transplantates müssen im wesentlichen drei Gesichtspunkte beachtet werden: die Wertigkeit des Transplantates, die ihm zugedachte Funktion und seine Vitalität.

5.2.1. Wertigkeit

Sämtliche neueren Autoren belegen die überragende Wertigkeit des autogenen Transplantates; seine Verwendung wird besonders auch in den schwierigen Fällen des ersatzschwachen oder infizierten Lagers empfohlen.
An zweiter Stelle steht das allogene Knochentransplantat aus der Knochenbank, das im ersatzstarken Lager mit gutem Ergebnis verwendet werden kann.
Versuche mit xenogenem Material werden auch heute noch durchgeführt, zumindest in Kombination mit autogenem Material (SALAMA, 1983), von der großen Mehrzahl der Autoren werden sie abgelehnt.
Zahlreiche Knochenersatzsubstanzen und Knochenderivate, die zur Sterilisierung und Antigenreduzierung chemisch und/oder physikalisch behandelt werden, sind in den letzten Jahren

entwickelt worden und befinden sich in klinischer Erprobung, z.B. AAA-Bone: Antigenextracted Autodigested Alloimplant nach URIST (1975) oder hochporöser synthetischer Hydroxylapatit (Ceros^{R} 8o) der Firma Synthes.

5.2.2. Biomechanische Funktionen

Je nach der dem Transplantat zugedachten Funktion, ergibt sich die Auswahl eines spongiösen, kortikalen oder kortikospongiösen Transplantates. Reine Spongiosa bietet zunächst keinerlei mechanische Festigkeit, was allerdings durch eine Osteosynthese kompensiert werden kann. Kortikalistransplantate sind dagegen mechanisch belastbar, wenn sie stabil im Lager verankert werden, haben dafür aber eine geringere osteogenetische Potenz.
Kortikospongiöse Transplantate nehmen eine Mittelstellung ein: der zunächst erreichte Stabilitätszuwachs ist durch Auflockerung des Transplantates im Zuge des Umbaus zeitlich begrenzt (SCHWEIBERER et al., 1981).
Um sowohl mechanische Stabilität als auch hohe osteogenetische Potenz zu erreichen, wurde in der Chirurgischen Universitätsklinik Tübingen in jüngster Zeit eine Kombination von autogener Spongiosa mit autogenen Rippentransplantaten verwendet (vgl. Kap. 16, Kasuistik, Fall 9, S. 92).

5.2.3. Vitalität

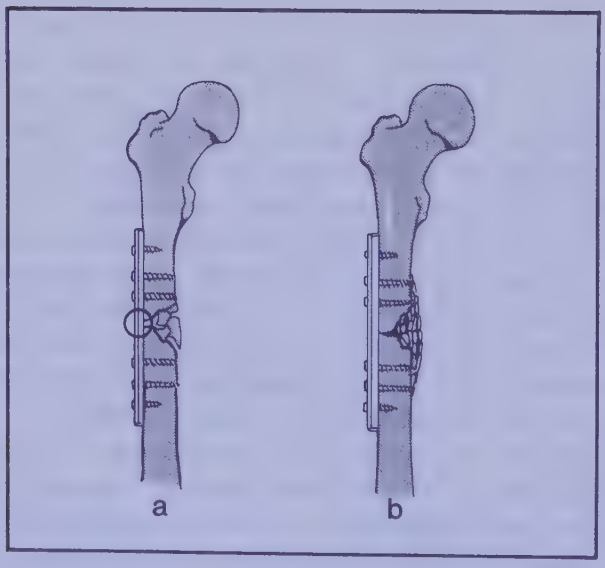
Das frische autogene Transplantat hat die höchste osteogenetische Potenz. Nach SCHWEIBERER et al. (1981) bewirkt schon eine kurze Austrocknungszeit nach Entnahme und Aufbewahrung in Zimmertemperatur oder antiseptischen Lösungen eine Denaturierung der Knochengrundsubstanz und somit eine Verringerung der osteogenetischen Potenz. Deshalb sollten frisch entnommene Transplantate direkt in das vorbereitete

Lager übertragen werden. Wo dies nicht möglich ist, empfiehlt SCHWEIBERER (1982) die Aufbewahrung in am Entnahmeort gewonnenem Eigenblut.

6. Indikationen

Der Anwendungsbereich der Spongiosaplastik ist umfassend. Seit der Einführung stabiler Osteosyntheseverfahren wurde die Indikationsstellung von der ursprünglichen Pseudarthrosenbehandlung nach MATTI (1936) auf viele weitere Indikationen ausgedehnt.
In erster Linie werden Knochentransplantationen zur Ausfüllung von Defekten jedweder Genese durchgeführt, sei es traumatisch, entzündlich, tumorös oder anlagebedingt. Ihre knochenregeneratorische Potenz sowie die mechanische Stützfunktion in Form von kortikospongiösen Spänen oder Keilen, erlauben ihre Anwendung bei Osteotomien, Arthrodesen, verzögerter Frakturheilung und Pseudarthrosenbildung.
Bei der Pseudarthrosenbehandlung wird die Spongiosaanlagerung vor allem bei der atrophen und der Defekt-Pseudarthrose infolge Knochennekrose angewendet. Die hypertrophe, reaktionsfähige, durch mechanische Unruhe entstandene, sogenannte Elefantenfuß-Pseudarthrose heilt durch einfache Stabilisierung mittels Osteosynthese, mitunter schon allein durch Ruhigstellung im Gipsverband aus (WELLER, 1967).
Bei den atrophen Formen dagegen wird der regeneratorische Impuls der Spongiosa ausgenutzt, meist in Verbindung mit einer stabilen Osteosynthese. In Einzelfällen kann die notwendige Stabilität auch durch kortikospongiöse Späne erreicht werden, z.B. bei der Behandlung der Kahnbeinpseudarthrose mit der Technik nach MATTI-RUSSE.
Eine weitere indikation ist die Anlagerung kontralateral zur Osteosyntheseplatte bei Mehrfragmentfrakturen langer Röhrenknochen zur Vorbeugung von Ermüdungsbrüchen des Metalls (sogenannte plattenferne oder lineare Abstützung). Wenn z.B. bei einer Mehrfragmentfraktur des Femurschaftes, die osteosynthetisch versorgt wurde, die mediale Kontinuität entweder durch Fehlen eines medialen Fragmentes oder Abbau eines nekrotischen Fragmentes nicht wieder hergestellt werden konnte, kommt es zu einer extremen Biegungsbeanspruchung und damit zum Bruch der Platte, da der Dreh-

punkt in der Platte selbst oder sehr nahe an ihr liegt (vgl. Schema 1, Abb. a).
Erfahrungsgemäß erfolgt ein Ermüdungsbruch des Materials in einer Situation, wie in Abbildung 1 a skizziert, nach etwa drei Monaten mit nachfolgender Pseudarthrosenbildung. Durch ausgedehnte Spongiosaanlagerung im Bereich des medialen Defektes, über den Defekt hinaus, wird im allgemeinen nach etwa sechs bis acht Wochen eine genügend stabile Knochenbrücke erreicht und die Biegungsbelastung der Platte neutralisiert (MÜLLER et al., 1969, 1977) (vgl. Schema 1, Abb. b).



Schema 1: Anlagerung von Knochenspänen kontralateral zur Osteosynthese, zur Neutralisierung von Biegungsbeanspruchung der Platte.
(O = Drehpunkt)

Geradezu eine Domäne der vor allem autogenen Spongiosatransplantation ist die Therapie der Osteomyelitis. In diesen meist langwierigen und komplikationsreichen Fällen ist oft nur durch mehrfache Spongiosaanlagerung nach Ausräumung des septischen Prozesses eine Ausheilung zu erzielen. Dabei gelten folgende Richtlinien (VEIHELMANN, 1975):

1) Keine Transplantation bei floridem Infekt.
2) Anlegen einer wirksamen Drainage.
3) Ausschließliche Verwendung von autogener Spongiosa.
4) Sichere Ruhigstellung (Osteosynthese).
5) Sorgfältige lokale Wundbehandlung.
6) Allgemeinbehandlung mit Antibiotika.

Eine umfassende Liste der Indikationen zur autogenen Spongiosatransplantation hat SCHWEIBERER (1982) in tabellarischer Form zusammengefaßt. Allogenes Material kann bei allen Indikationen verwendet werden, wo ein ersatzstarkes Lager vorliegt (vgl. Kapitel 5.1., S. 17).

Tabelle 2 Indikation zur Spongiosaplastik

A) Verwendung von Spongiosa ohne kortikale Anteile

1) Abstützungsfunktionen:
   - bei Mehrfragmentfrakturen kontralateral zur Platten-Osteosynthese
   - bei verzögerter Frakturheilung
   - bei Nekrosepseudarthrose
   - bei pathologischen Frakturen
   - bei Osteoporose

2) Revitalisierungsfunktion:
   - bei atrophen Pseudarthrosen
   - bei osteomyelitischen Resthöhlen im blanden Stadium

3) Defektausfüllung:
   - bei Defektpseudarthrosen
   - nach Tumorresektion
   - nach traumatischer Metaphysenkompression

B) Verwendung von kortikospongiösen Spänen

1) Abstützung:
   - bei Verriegelungs- und Bolzungsarthrodesen
   - bei Umstellungsosteotomien
   - bei Versteifungsoperationen im Wirbelsäulenbereich

2) Osteoplastische Rekonstruktionen:
   - Spanplastiken im Gelenkbereich (habituelle Schulterluxation, Dysplasiehüfte)
   - Verlängerungsosteotomien
   - Defektauffüllung im ersatzstarken Lager (Defekt nach juveniler Knochenzyste etc.)

---

modifiziert nach SCHWEIBERER et al., 1982,
in "Chirurg" 53, S. 197

7. Kontraindikationen

Kontraindikationen für die Spongiosaplastik können im Alter und im Allgemeinzustand der Patienten bestehen. Insbesondere Wundheilungsstörungen aufgrund von Allgemeinerkrankungen, sowie Durchblutungsstörungen etwa thrombotischer Grundlage, müssen in Betracht gezogen werden.
Für die autogene Spongiosaentnahme muß das Risiko des zusätzlichen Eingriffes mit der entsprechend verlängerten Narkose berücksichtigt werden.

8. Komplikationen

8.1. Komplikationen an der Entnahmestelle

Abhängig von der Lokalisation der Entnahmestelle wird über folgende Komplikationen berichtet (SAXER, 1974; GERNGROSS et al., 1982):

- Hämatome: entstehen meist bei der Entnahme am vorderen Beckenkamm, jedoch sind sie selten so ausgeprägt, daß sie operativ ausgeräumt werden müssen.
- Nervenschädigungen: ebenfalls meist bei Entnahme am vorderen Beckenkamm als Schädigung des Nervus cutaneus femoris lateralis mit Beschwerden in Form der Meralgia parästhetica, selten des Nervus ilioinguinalis, Nervus femoralis oder Nervus glutaeus superior. An anderen Entnahmestellen können Parästhesien im entsprechenden Ausbreitungsgebiet der Hautnerven auftreten, z.B. an der fibulären Beinseite nach Entnahmen am Tibiakopf. In der Regel bilden sich diese Beschwerden weitgehend zurück.
- Infektionen: sind insgesamt sehr selten. Besondere Vorsicht ist bei Operationen geboten, wo der Verdacht auf

ein eventuelles septisches Geschehen besteht.

- Pathologische Frakturen nach Spongiosaentnahme: Selten entstanden Frakturen des Beckenkammes bei Entnahme grösserer kortikospongiöser Blöcke für Spondylodesen (SAXER, 1974), häufiger nach exzessiver Entnahme aus dem Trochanterbereich, weshalb diese Entnahmestelle nur bedingt empfohlen wird (vgl. Bild 1 und Kap. 14. 12. S.55).

Bild 1: Pathologische Fraktur nach Spongiosaentnahme im Trochanterbereich.
Entnahme subtrochanter, mit Fraktur drei Monate post operationem ohne adäquates Trauma.

Als Einzelfälle sind in der Literatur weitere Komplikationen beschrieben, wie eine Ureterverletzung mit Entstehung einer AV-Fistel nach Spanentnahme vom posterioren Teil des os ileum (EXCALAS, 1977) oder Lumbalhernien durch Defekte in der Beckenschaufel hindurch, die nach Spanentnahme entstanden waren (CHALLIS et al., 1975).
Als Gesamtrate postoperativer Frühkomplikationen ermittelten GERNGROSS et al. (1982) bei 1o22 Spongiosaentnahmen an verschiedenen Stellen 4,11 %. Sie untersuchten auch Spätkomplikationen, meist als persistierende Schmerzen an der Entnahmestelle angegeben, oft mit Wetterfühligkeit oder Nervenschäden, die zum kompletten Ausfall im Versorgungsbereich des Nervus cutaneus femoris lateralis geführt hatten. Dabei ermittelten sie anläßlich von Nachkontrollen (3-9 Jahre post operationem) eine Beschwerderate von 3,9 %.
Insgesamt ist die Komplikationsrate also sehr gering und kann durch exakte Technik noch verringert werden.
Dabei wäre zu nennen:

- Bei geringstem Verdacht auf ein septisches Geschehen sollte die Spongiosaentnahme zeitlich von der Anlagerung abgetrennt werden.
- Genaue Wahl des Inzisionsortes mit Berücksichtigung der sensiblen Versorgung.
- Exakte Blutstillung und Fascienverschluß.
- Berücksichtigung von Belastungszonen und Kerbspannung bei der Wahl von Entnahmemenge und -ort.

8.2. Komplikationen am Transplantatlager

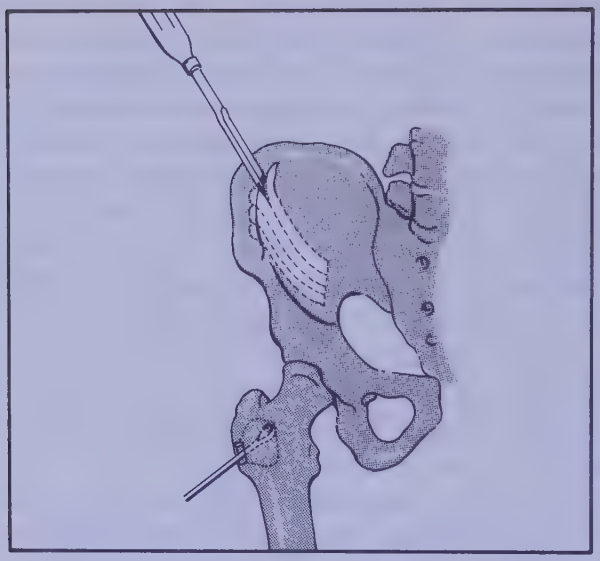
Entsprechend der physiologischen Einheilungsvorgänge ergeben sich transplantationsbedingt zwei Hauptkomplikationen: die Resorption des Transplantates oder dessen durch Sklerosierungsprozesse gekennzeichneter "toter Einbau" (LEXER, 1924) ohne Funktionsübernahme.
Die Hauptursache dafür sind fehlende bzw. mangelhafte Osteogenese, fehlende bzw. mangelhafte Revaskularisierung, feh-

lender bzw. mangelhafter funktioneller Umbau des Transplantates. Die Bedingungen dafür (Lagervorbereitung, Stabilisierung, Transplantatwahl, Infektion) wurden bereits in den vorhergehenden Kapiteln diskutiert. Daneben können natürlich sämtliche, durch den allgemeinen chirurgischen Eingriff bedingten, Komplikationen auftreten, wie Hämatome, Infektionen, Nervenschädigungen usw. Diese sind aber weniger auf den transplantierten Knochen zurückzuführen, als auf die speziellen Umstände der jeweils vorliegenden Operation (Art der Operation, Lokalisation und Schwierigkeit einer Fraktur, Art und Alter einer Pseudarthrose, Lebensalter des Patienten u.v.a.m.).

9. Technik der Entnahme autogenen Knochenmaterials

Hauptentnahmestelle für Knochenmaterial ist der Beckenkamm, bzw. die Beckenschaufel. Größere Mengen von Material können an der Außenseite des dorsalen Beckenkammes gewonnen werden. Da dies aber meistens eine intraoperative Umlagerung des Patienten erfordert, wurde in der Chirurgischen Universitätsklinik Tübingen Knochenmaterial am Beckenkamm ausschließlich von der Innenseite der ventralen Beckenschaufel bzw. des Kammes entnommen mit der klassischen Methode nach MÜLLER, ALLGÖWER, SCHNEIDER und WILLENEGGER (1979). Dabei wird nach Hautschnitt 2 cm lateral oder medial der Crista iliaca diese freigelegt und der Musculus iliacus von der Innenseite abgelöst. Entsprechend der dem Transplantat zugedachten Funktion können nun mit dem Hohlmeißel kortikospongiöse Späne entnommen werden.
Reine Spongiosa kann nach Abheben der Kortikalis mit dem Hohlmeißel oder dem scharfen Löffel gewonnen werden. Die Einlage von blutstillendem Material wird empfohlen.

Auch aus dem Trochanter major kann nach Fensterung der Kortikalis unter Beachtung der Hauptspannungslinien mit dem scharfen Löffel Spongiosa entnommen werden.
In gleicher Weise können kleinere Spongiosamengen vom Tibiakopf und in Ausnahmefällen von den distalen Anteilen von Tibia und Radius entnommen werden, zur Füllung kleinerer Defekte an Hand- oder Fußskelett.



Schema 2: Entnahmestellen am ventralen Beckenkamm (Innenseite) und Trochanter major.

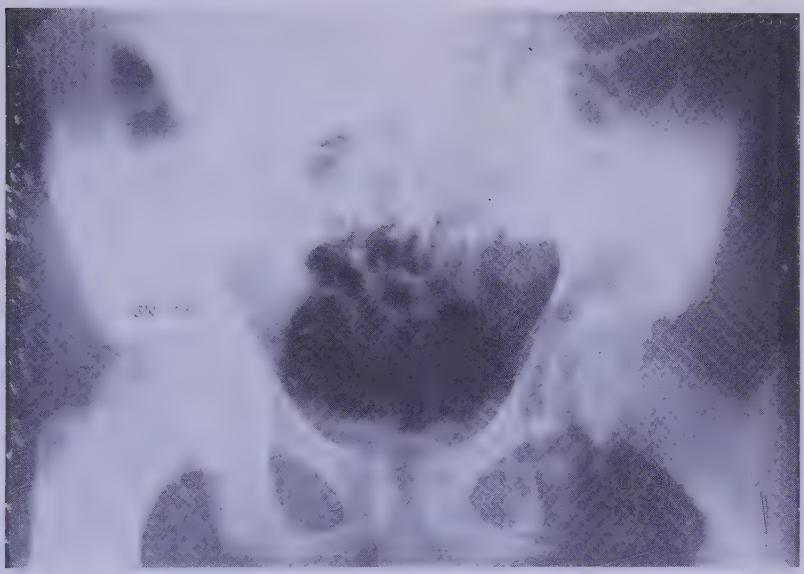


Bild 2: Röntgendokumentation einer Spanentnahme vom Beckenkamm rechts oben (Aufnahme unmittelbar postoperativ).

Im linken Sitzbeinast ist die juvenile Knochenzyste zu sehen, die aufgefüllt wurde.

1o. Knochenbank

Die Notwendigkeit allogener Knochentransplantationen und damit die der Einrichtung von Knochenbanken ergibt sich vor allem aus zwei Gründen: 1) der nicht unbeschränkten Verfügbarkeit autogenen Materials, 2) der Vermeidung eines Zweiteingriffes. Eine solche Knochenbank ist mit nur geringem operativem und instrumentellem Aufwand in jeder chirurgischen Klinik und jeder Krankenhausabteilung einzurichten und zu unterhalten (VEIHELMANN, 1974).

1o.1. Spenderauswahl

Kriterien für die Spenderauswahl werden von TOMFORD et al. (1983) angegeben; sie dienen vor allem zum Ausschluß potentiell infektiösen Spendergewebes.

- Bei den Spendern sollten akute oder chronische infektiöse Krankheiten durch Analyse der Krankengeschichte sowie physikalische Untersuchung ausgeschlossen werden.
- Im Lauf des stationären Aufenthaltes vor dem Tod sollte kein Fieber, keine Respiratortherapie über mehr als 72 Stunden und keine Steroidbehandlung über mehr als eine Woche (Maskierung von Infektionen) vorausgegangen sein.
- Eventuell vor dem Tod abgenommene Kulturen von Blut, Urin oder anderen Körpersäften sollten steril sein.
- Medikamenten- und Drogenanamnese wird empfohlen, da bei Abhängigen oft chronische Bakteriämien vorkommen.
- Wichtig ist die Eruierung und Bewertung durchgemachter Krankheiten wie Hepatitis, diffuse Bindegewebserkrankungen, Malignome und potentiell übertragbarer Viruserkrankungen.
- Zum Zeitpunkt der Gewebsentnahme sollten Blutuntersuchungen auf hepatitisassoziierte Antigene und Geschlechtskrankheiten durchgeführt werden.

Empfohlen wird auch eine Autopsie nach Gewebsentnahme, zum Ausschluß von versteckten Krankheiten wie Malignome oder Infektionen.

Ähnliche Kriterien sollten auch für lebende Spender gelten, z.B. bei der Entnahme von Femurköpfen bei Einsatz von Totalendoprothesen.

1o.2. Entnahme

In der Chirurgischen Universitätsklinik Tübingen wird allogenes Knochenmaterial in folgender Weise entnommen (VEIHELMANN, 1974):
Von Leichen frisch verstorbener Unfallverletzter wird innerhalb von 4 Stunden* das Knochenmaterial aus Tibiakopf, Femurkondylen und großen Trochanteren unter den Kautelen einer streng aseptischen Operation entnommen. Je nach Vorrat der Knochenbank werden auch Radius, Ulna und Tibia entfernt. Außerdem wird Venenblut zum serologischen Ausschluß von Lues und Hepatitis entnommen, sowie Abstriche und Proben von Knochenmaterial zur bakteriologischen Untersuchung gegeben.

1o.3. Lagerung

Für die Aufbewahrung von Knochensubstanz werden verschiedene Möglichkeiten angegeben. Die klassische Technik nach WILSON (1947) und BUSH (1948) ist die Lagerung im Gefrierschrank bei Temperaturen von minus 18 bis minus 25 °C. Neuerdings wird bei minus 7o bis minus 8o °C gelagert oder die Knochensubstanz gefriergetrocknet.

---

* URIST gibt an, daß im Tierversuch etwa die Hälfte der BMP-Aktivität, verglichen mit der von frischer Knochensubstanz, innerhalb von 24 Stunden post mortem verloren ist (URIST, 198o, S. 345).

Bei Temperaturen um minus 2o ^{o}C sind die Gewebsenzyme noch aktiv, was zu Gewebeschädigung führen kann, daher ist die Aufbewahrungsdauer begrenzt.
Der Vorteil dieser Methode, die auch in der Chirurgischen Universitätsklinik Tübingen angewendet wird, liegt in dem relativ geringen Aufwand. Die Aufbewahrungszeit liegt bei sechs Monaten, da nach SIEBER (1956) bis zu diesem Zeitpunkt Fett- und Eiweißveränderungen minimal sind. Ein relativ einfach zu bestimmendes Maß für die Vitalität einer Knochenkonserve stellt die Enzymaktivität der alkalischen Phosphatase dar. Anhand von Bestimmungen ihrer Volumenaktivität kann der Grad der durch verschiedene Konservierungsverfahren eingetretenen Veränderungen beurteilt werden (THIELEMANN, 1977).
Die Lagerungsdauer kann verlängert werden durch Tiefkühlung auf minus 8o ^{o}C. In diesem Bereich ist die enzymatische Gewebszerstörung wahrscheinlich minimal. Zumindest für das Enzym Kollagenase wurde die Inaktivität in diesem Temperaturbereich nachgewiesen (EHRLICH et al., 1983).
Durch Gefriertrocknung kann Knochensubstanz nahezu unbegrenzt aufbewahrt werden, solange die Vakuumverpackung intakt bleibt. Der Nachteil des Verfahrens ist der enorme technische Aufwand sowie eine Beeinträchtigung der mechanischen Eigenschaften des Transplantates. Nach PELKER (1983) vermindert Gefriertrocknung die Rotations- und Biegungsfestigkeit, nicht dagegen die Kompressions- und Dehnungsstabilität eines Knochentransplantates. Bei Tiefkühlung dagegen ist die Wirkung auf die Stabilität minimal.

Da die Sterilität der wichtigste Aspekt der Lagerung von Knochensubstanz ist, wurden viele Versuche zur chemischen (Merthiolate, Cialit, Betapropiolacton-Lösung u.a.) oder physikalischen (^{60}Co-Bestrahlung) Sterilisierung unternommen.
Wegen der einerseits zu geringen Effektivität oder der andererseits zu großen Gewebstoxizität wird im allgemeinen empfohlen, durch sterile Entnahme und Aufbewahrung, sowie regelmäßige Kontrollen während der Lagerung die Sterilität

zu gewährleisten (TOMFORD et al., 1983, u.a.).
In der Chirurgischen Universitätsklinik Tübingen werden in regelmäßigen dreiwöchigen Abständen die Aufbewahrungsbehälter mit Ringerlösung gespült und Proben der Spülflüssigkeit, sowie Abstriche und Proben der Knochenpräparate bakteriologisch untersucht.
Auf die eminente Bedeutung einer genauen Buchführung einer Knochenbank weisen alle Autoren hin.

11. Technik der Transplantation

Die Technik der Transplantation ergibt sich aus dem jeweiligen Defekt sowie der dem Transplantat zugedachten Funktion. Grundsätzlich können Chips, Bröckel, stabilere Blöcke oder Keile von Spongiosa mit oder ohne kortikale Anteile angelagert, eingepresst, tischlermäßig eingepaßt oder eingebolzt werden.
Auf die besondere Bedeutung der Vorbereitung des Transplantatlagers sowie dessen Stabilisierung nach den Regeln der Schweizer Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen wurde bereits hingewiesen.

11.1. Postoperative Maßnahmen

Um den ungestörten Ablauf der beschriebenen Einheilungsvorgänge zu gewährleisten, erfolgt in der Chirurgischen Universitätsklinik Tübingen nach Spongiosaplastik eine in der Regel dreiwöchige Ruhigstellung des behandelten Gliedes. Danach erfolgt krankengymnastische Therapie und in Abhängigkeit von den Ergebnissen der radiologischen Kontrolluntersuchungen zunehmende Belastung, um den funktionellen Umbau des Transplantates entsprechend der Belastungsrichtung zu stimulieren.
Nach radiologisch sicher abgeschlossener knöcherner Durchbauung erfolgt die Metallentfernung, im allgemeinen nicht vor Ablauf eines Jahres.

12. Verlaufsbeobachtung

Methoden der Verlaufsbeobachtung sind die klinische Beobachtung, die klinisch funktionelle Untersuchung, die radiologische Darstellung sowie bei unklaren Fällen die szintigraphische Darstellung.
Kriterien zur Beurteilung des Verlaufs sowie des Endergebnisses werden im speziellen Teil angegeben (vgl. Kapitel 14.12. bis 14.2o.).

13. Modifikation der Spongiosaplastik

13.1. "Autologisierung"

SÁRVÁRY und BERENTEY (1981) berichten über gute Erfahrungen bei der "Autologisierung" von heterologer Spongiosa. Dabei wird in Fällen von atrophen und vor allem Defektpseudarthrosen, die erfahrungsgemäß oft mehrfache Spongiosaübertragungen erfordern, bei der ersten autogenen Spongiosaentnahme aus dem Beckenkamm, das Entnahmelager mit desantigenisierten heterologen Spogiosawürfeln in doppelter bis dreifacher Menge aufgefüllt. Das in diesem ersatzstarken Lager entstehende, gut durchblutete osteoide Gewebe, steht nach acht bis zehn Wochen für die Transplantation in ausreichender Menge zur Verfügung. Die Einheilung dieses an pluripotenten Zellen reichen osteoiden Gewebes nach Transplantation, geschehe auch unter ungünstigen Bedingungen komplikationslos. Falls das Material nicht benötigt wird, könne es, aufgrund des reaktionslosen Einbaus in der Darmbeinschaufel, ohne Schaden belassen werden.

13.2. Fibrineinklebung

Eine weitere Modifikation des Verfahrens ist die Einklebung der übertragenen Spongiosa ins Transplantatlager mittels eines Fibrinklebersystems. Im Tierversuch (ZILCH und FUCHS, 198o), sowie in der klinischen Erprobung (BÖSCH et al., 1977) deuten die Ergebnisse auf eine raschere Revaskularisierung hin. ARBES et al. (1981) berichten sogar über positive klinische Erfahrung mit Knochenderivaten xenogener Herkunft (Kiel-Bone) in Verbindung mit Fibrinklebung (Fibrin-Adhesive System).

14. Ergebnisse der eigenen Untersuchung

14.1. Methodik

Die Untersuchung erstreckt sich über den Zeitraum vom 1.1. 1971 bis zum 31.12.1982 und umfaßt 223 Knochentransplantationen bei 174 Patienten.
Die Daten wurden anhand von drei Quellen erhoben:
1) den Krankenblättern über den stationären Aufenthalt;
2) den Unterlagen der Chirurgischen Poliklinik/Frakturensprechstunde über ambulante Weiterbehandlung bzw. Kontrolluntersuchungen;
3) dem Röntgenarchiv.

Bis auf wenige Ausnahmen waren die Daten von den stationären Aufenthalten vollständig zu erheben: aus Operationsprotokollen, Arztbriefen, eventuell angefertigten Gutachten sowie Eintragungen in den Beobachtungsbogen der stationären Behandlung.
In der Ambulanzkartei fehlende Angaben zum Verlauf konnten teilweise aus der Anamnese bei Wiedereinbestellung der Patienten zur stationären Metallentfernung oder aus Gutachten gewonnen werden.
Die meisten Patienten waren nach ihrer Entlassung zur ambulanten Weiterbehandlung von der Frakturenambulanz im Hause betreut worden. Ein Teil der Patienten war in hausärztliche ambulante Betreuung entlassen worden mit der Bitte um Wiedervorstellung in der Frakturenambulanz, was in der Regel auch erfolgte. Einige Ambulanzakten waren nicht mehr auffindbar bzw. die Patienten waren nicht zu den vorgeschlagenen Kontrolluntersuchungen erschienen. In diesen Fällen ließ sich ein Teil der Informationen zum klinischen Verlauf durch Anschreiben des weiterbehandelnden Arztes mit gezielten Fragen zum Verlauf und der Bitte um kurzfristige Überlassung eventuell vorhandener Röntgenbilder erhalten (siehe Anhang 2).
Sämtliche vorhandenen Röntgenbilder wurden gesichtet, dem zeitlichen Verlauf nach geordnet und entsprechend der aufgestellten Kriterien (vgl. Kapitel 15.2.) beurteilt.

14.2. Transplantation im septischen Indikationsbereich

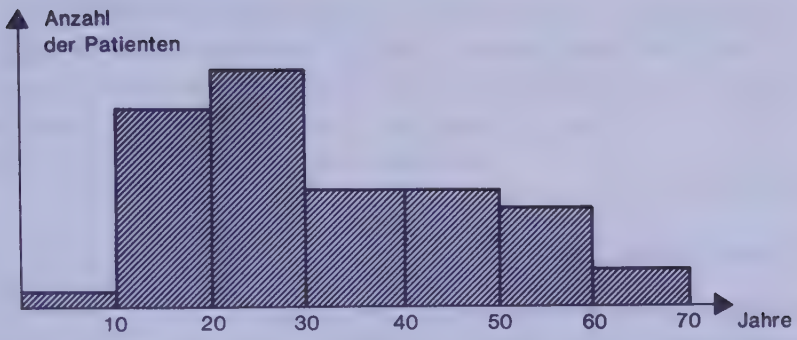
Bei 21 der 223 Operationen an 12 von 174 Patienten wurde die Knochentransplantation im Zusammenhang mit der vorherigen Ausräumung eines septischen Prozesses nach Möglichkeit im blanden Stadium durchgeführt. Die durchschnittliche Blutkörperchensenkungsgeschwindigkeit zum Zeitpunkt der Operation lag in diesen Fällen bei 3o/51 mm, in zwei Fällen davon war eine Spongiosaanlagerung durchgeführt worden trotz BSG-Werten von 6o/115 und 87/115 mm n.W.
Infolge der geringen Patientenzahl sowie der völlig unterschiedlichen Bedingungen für das Transplantat können die Daten der septischen Operationen nicht zu Vergleichen herangezogen werden. Zur Vollständigkeit der Dokumentation werden sie jedoch jeweils gesondert aufgeführt (als Tabelle b).

14.3. Alter und Geschlecht der Patienten

Tabelle 3

Altersverteilung der Patienten

Jahre	o-9	1o-19	2o-29	3o-39	4o-49	5o-59	6o-69
	3	42	5o	25	25	21	9



Graphische Darstellung der Altersverteilung.

Zum Operationszeitpunkt war der jüngste Patient 6 Jahre, der älteste 69. Das Durchschnittsalter betrug 31 Jahre.

Geschlechtsverteilung

weiblich : 64 Patientinnen
männlich : 11o Patienten

Der Anteil der Frauen betrug damit 37 %.

14.4. Übersicht über die Indikationsbereiche

Die häufigsten Indikationen zur Knochenverpflanzung war mit 33 % bei Frakturen gestellt worden, am zweithäufigsten mit 28 % bei der Behandlung von Pseudarthrosen.

Tabelle 4

Indikationsbereiche	n = 223
Frakturen (ohne pathologische Frakturen)	73
Pseudarthrosen / verzögerte Heilung	62
Tumoren / Zysten	45
Korrektur-Osteotomien	18
Sonstige (Defektfüllung bei ME)	4
Septische Eingriffe	21

Pathologische Frakturen werden in Tabelle 4 bei ihrer jeweiligen Ursache (verzögerte Heilung, Zysten) aufgeführt.
Der Unterschied zwischen Pseudarthrose und verzögerter Heilung ergibt sich erfahrungsgemäß aus dem Zeitablauf; bis fünf Monate spricht man von verzögerter Heilung, danach von Pseudarthrose (WELLER, 1967).

Bei den septischen Eingriffen wurden Nekrosen, Sequester oder pseudarthrotisch verändertes Gewebe ausgeräumt, und der Defekt mit Spongiosa aufgefüllt.
Im folgenden wird eine genaue Unterteilung der drei häufigsten Indikationsgebiete gegeben.

Tabelle 5

Einteilung Frakturen	n = 93
Frakturen mit Defektbildung	41
Trümmerfrakturen	32
pathologische Frakturen bei verzögerter Heilung	14
pathologische Frakturen bei Tumoren	6

Bei einer Fraktur an der Basis des Os metacarpale I wurde neben einer Plattenosteosynthese eine Arthrodese des Daumensattelgelenkes mittels Einbolzung eines kortikospongiösen Spanes vom Beckenkamm durchgeführt.

Tabelle 6

Einteilung Tumoren (nach pathologischen Gesichtspunkten)		n = 45
Zysten insgesamt		15
davon juvenile Zysten	9	
aneurysmatische Zysten	2	
solitäre Zysten	4	
Enchondrome		14
ossifizierende Fibrome		4
Riesenzelltumoren		3
fibröse Dysplasie (osteolytische Herde)		3
Osteoidosteom		2
Sonstige		4

Am häufigsten wurden Zysten und Enchondrome ausgeräumt und mit Spongiosa aufgefüllt. Je einmal geschah der Eingriff bei einem Osteoblastom, einem Chondroblastom und einer be-

strahlten Metastase bei Hypernephrom. Einmal wurde verdächtiges Gewebe entnommen, ohne pathologischen Befund. In allen Fällen war eine histopathologische Untersuchung durchgeführt worden.

Tabelle 7

Einteilung Pseudarthrosen	n = 62
verzögerte Heilung	29
Defekt-Pseudarthrose	19
hypertrophe Pseudarthrose	2
atrophe Pseudarthrose (ohne Kahnbein)	1
Kahnbeinpseudarthrose, Operation nach Matti-Russe	11

Bei dieser Einteilung sind die septischen (Infekt-) Pseudarthrosen nicht berücksichtigt; im septischen Bereich wurde achtmal eine Spongiosaanlagerung nach Ausräumung von pseudarthrotisch verändertem Gewebe durchgeführt.
Die hypertrophe Pseudarthrose ist im allgemeinen keine Indikation für eine Spongiosatransplantation, da sie durch Stabilisierung z.B. mittels Osteosynthese in der Regel zur Ausheilung zu bringen ist (vgl. Kapitel 6). In den beiden Fällen der Tabelle 7 erschien wohl eine zusätzliche Revitalisierung und Stabilisierung wünschenswert.
Die Pseudarthrosen des Os scaphoideum wurden durch Einbolzung eines kortikospongiösen Spanes vom Beckenkamm nach Ausräumung der Pseudarthrose in der Technik nach Matti-Russe behandelt.

14.5. Lokalisation des Transplantatlagers in den einzelnen Indikationsbereichen

Tabelle 8

Lokalisation der Frakturen	n = 73
Tibia	31
Femur	21
Fibula	7
Radius/Ulna	7
Humerus	5
Hand	2

Die häufigste Lokalisation von Frakturdefekten, die mit Spongiosa ausgefüllt wurden, war an der Tibia mit 31 Fällen, 17 davon waren Impressionsfrakturen des Tibiakopfes mit Rekonstruktion der Gelenkfläche. In 21 Fällen war der Femur betroffen, davon einmal am Schenkelhals.

Tabelle 9

Lokalisation der Tumoren	n = 45
Femur	1o
Humerus	9
Hand	9
Tibia	9
Radius/Ulna	4
Becken	2
Fuß	2

Am meisten betroffen waren die großen Röhrenknochen Femur, Humerus und Tibia (davon fünfmal der Tibiakopf). Enchondrome waren die Ursache für die häufige Beteiligung der Handknochen.

Tabelle 1o

Lokalisation der Pseudarthrosen	n = 62
Tibia	16
Fibula	1o
Radius/Ulna	1o
Femur	9
Humerus	4
Clavicula	2
Os scaphoideum	11

Pseudarthrosen waren deutlich häufiger an den unteren Extremitäten, wo die Belastung und damit auch das Problem der Stabilisierung größer ist.

Tabelle 11

Lokalisation der Korrektureingriffe	n = 18
Tibia/Fibula	8
Radius	7
Femur	3

Korrektureingriffe waren notwendig zur Korrektur von Achsen-, Längen- oder Rotationsfehlstellungen nach Ausheilung konservativ oder operativ behandelter Frakturen. Dreimal wurde eine Stufe im Gelenk nach nicht bzw. unzureichend behandelter Tibiakopffraktur korrigiert. Zur Korrektur wurden spongiöse oder kortikospongiöse Blöcke und Keile verwendet. Ein interessantes Beispiel für die Korrektur einer mit Drehfehler und Verkürzung ausgeheilten Femurfraktur mit Marknagelung, in Verbindung mit einem autogenen Beckenkammsegment, gibt Fall 6 (Kasuistik, Kapitel 16, S.83).

Tabelle 12

Lokalisation der septischen Eingriffe	n = 21
Femur	13
Tibia	8

Sämtliche septischen Eingriffe waren an der unteren Extremität.

14.6. Herkunft des Knochenmateriales

Von den 2o2 durchgeführten Transplantationen des aseptischen Indikationsbereiches wurde bei 91 (45 %) allogenes Knochenmaterial aus der Knochenbank verwendet; zweimal davon je ein Vollknochentransplantat von 8 und 6 cm Länge nach Kontinuitätsresektion osteolytischer Herde bei Morbus Jaffée-Lichtenstein.
In drei Fällen wurde eine Kombination autogenen Materials mit Bankknochen durchgeführt (1,5 %).

Tabelle 13

Herkunft des Knochenmaterials	n = 2o2
autogenes Material	1o8
Bankknochen	91
Kombination von auto- und allogenem Material	3

14.7. Entnahmestelle bei autogener Transplantation

Bei der autogenen Transplantation war die gebräuchlichste Entnahmestelle der vordere Beckenkamm mit 76 % von 1o8 Entnahmen.

Tabelle 14 a

Lokalisation der Entnahmestelle	n = 1o8
Beckenkamm	82
Tibiakopf	13
Trochanter major	1
Kombination aus diesen drei	7
Femurkondylen	2
Sonstiges	3

Wegen der Lokalisation des Operationsgebietes und der geringen Menge der benötigten Spongiosa wurde je einmal aus dem distalen Radius und einem Mittelfußköpfchen Spongiosa entnommen, einmal wurde ein Fibulastück überpflanzt.

Im septischen Bereich wurde nur einmal Bankspongiosa verpflanzt, und einmal eine Kombination von Spongiosabröckeln

aus dem Trochanter mit allogenem Material der Knochenbank, nach Ausräumung einer Pseudarthrose des Femur.

Tabelle 14 b

Entnahmestelle bei septischen Eingriffen	n = 21
Beckenkamm	12
Trochanter	3
Tibiakopf	1
Kombination aus diesen drei	2
Femurkondylus	1
Knochenbank	1
Kombination autogenes/allogenes Material	1

14.8. Anlagerungsart des Knochentransplantates

Die Anlagerung des Knochenmaterials erfolgte in kleinen Spongiosabröckeln bzw. Chips, in Blöcken, Spänen oder Keilen mit oder ohne kortikale Anteile.
Im Bereich der allogenen Transplantationen ging die Art der Anlagerung nicht immer eindeutig aus den Operationsprotokollen hervor. Oft wurde das angelagerte Transplantat lediglich als Bankspongiosa bezeichnet, kortikale Anteile waren nie beschrieben. In einem Fall wurde ein Fibulastück autogen verpflanzt, in zwei Fällen ein allogenes Vollknochentransplantat (vgl. Kapitel 14.6.).

Tabelle 15 a

Anlagerungsart nach Herkunft des Knochenmaterials n = 2o2

Art des Transplantats	autogen	allogen	Kombination	insgesamt
Bröckel/Chips	62	7o	2	134
spongiöser Block	15	19	-	34
kortikospongiöser Span/Keil	3o	-	1	31
Sonstiges	1	2	-	3

Tabelle 15 b Septischer Bereich

Anlagerungsart nach Herkunft des Knochenmaterials n = 21

Art des Transplantats	autogen	allogen	Kombination	insgesamt
Bröckel/Chips	15	-	1	16
spongiöser Block	3	1	-	4
kortikospongiöser Span/Keil	1	-	-	1

14.9. Funktion des Transplantates

Die Angabe der dem Transplantat zugedachten Funktion ist nicht unproblematisch, da das Transplantat jeweils eine ganze Reihe von Funktionen erfüllen soll. So wird z.B. sowohl

bei der plattenfernen Abstützung von Mehrfragmentfrakturen, als auch bei der Gelenkflächenrekonstruktion in der Regel ein Defekt mit ausgefüllt. In allen Fällen von Knochentransplantationen wird natürlich auch die Revitalisierungsfunktion erwünscht. In der Tabelle 16 a ist die jeweilige Hauptfunktion des Transplantates angegeben; die Revitalisierungsfunktion bezieht sich auf Fälle, wo bei Pseudarthrosen bzw. verzögerter Heilung mit minimalen Defekten, die Revitalisierungsfunktion des Transplantats ganz im Vordergrund stand.

Tabelle 16 a

Funktion des Transplantates getrennt nach Herkunft n = 2o2

Funktion	autogen	allogen	Kombination	insgesamt
Defektfüllung	59	6o	2	121
Verriegelung/Bolzung	22	4	-	26
axiale (Gelenkflächen-) Abstützung	7	15	-	22
lineare (plattenferne-) Abstützung	13	7	1	21
Kontinuitätsüberbrückung	3	4	-	7
Revitalisierung	4	1	-	5

Bei 6o % von allen 2o2 Knochenübertragungen stand also die Ausfüllung eines Defektes im Vordergrund.

Tabelle 16 b Septischer Bereich

Funktion des Transplantates getrennt nach Herkunft n=21

Funktion	autogen	allogen	Kombination	insgesamt
Defektfüllung	18	1	1	2o
plattenferne Abstützung	1	-	-	1

Bei sämtlichen septischen Operationen kommt der Revitalisierungsfunktion eine außerordentliche Bedeutung zu, sie ist in Tabelle 16 b nicht zusätzlich aufgeführt.

14.1o. Art der Stabilisierung

Auf die besondere Bedeutung einer zuverlässigen mechanischen Stabilisierung des Transplantatlagers wurde in Kapitel 5.1. bereits hingewiesen. In der überwiegenden Mehrheit aller Fälle (66 %) wurde das Lager mittels Plattenosteosynthese stabilisiert. In einem Viertel der Fälle war eine operative Stabilisierung aus anatomischen (z.B. kleines Enchondrom) oder funktionellen Gründen (z.B. Spaneinbolzung nach Matti-Russe) nicht notwendig.

Tabelle 17 a

Stabilisierungsart	n=2o2
Platten-Osteosynthese	133
Einzelschrauben	9
Spickdrähte/Zuggurtung	6
Marknagel	2
Fixateur externe	2
keine operative Stabilisierung	5o

Die Stabilisierung mittels Einzelschrauben erfolgte bei Transplantationen im Hand- oder Fußbereich, in der Regel durch Kleinfragmentschrauben der AO.

Tabelle 17 b Septischer Bereich

Stabilisierungsart	n=21
Platten-Osteosynthese	9
Fixateur externe	6
Marknagel	2
keine operative Stabilisierung	4

14.11. Zusätzliche therapeutische Maßnahmen

Nach den allgemeinen Behandlungsrichtlinien erfolgte in der Regel eine dreiwöchige Ruhigstellung des operierten Körperteiles mit oder ohne fixierende Verbände, danach krankengymnastische Übungsbehandlung. Bei Behandlung der Kahnbeinpseudarthrose erfolgte grundsätzlich eine zwölf- bis sechzehnwöchige Ruhigstellung nach Spanbolzung im Gipsverband.

In Abhängigkeit vom Ausmaß der Operation (z.B. kleines Enchondrom oder komplizierte Trümmerfraktur), sowie vom weiteren Verlauf, wurde dieses Grundschema modifiziert.

Tabelle 18 a

Zusätzliche therapeutische Maßnahmen	n=2o2
Fixierende Verbände	131
Stützapparat	1o

Tabelle 18 b Septischer Bereich

Zusätzliche therapeutische Maßnahmen	n=21
Fixierende Verbände	7
Saugdrainage	7
Stützapparat	3

14.12. Komplikationen an der Entnahmestelle bei autogener Transplantation

Die Gesamtrate der Komplikationen nach autogener Knochenmaterialentnahme betrug 3,9 %.
In der Tabelle 19 sind die autogenen Entnahmen des septischen Bereichs mit aufgenommen, da die Entnahme bei Verdacht auf septisches Geschehen als getrennter Eingriff durchgeführt wurde; in keinem Fall war es zu einer Infektion an der Entnahmestelle gekommen.

Tabelle 19

Komplikationen an der Entnahmestelle n=127

Art der Komplikation	Entnahmestelle	Häufigkeit
Nervenschädigung	Beckenkamm, Tibiakopf	2
Hämatom	Beckenkamm	1
anhaltender Schmerz	Beckenkamm	1
Fraktur im Bereich der Entnahmestelle	Trochanter	1
Komplikationen insgesamt		5

Bei den Nervenschädigungen handelte es sich in einem Fall um Parästhesien der fibulären Beinseite nach Spongiosaentnahme am Tibiakopf, im anderen Fall um eine, durch neurologische Konsiliaruntersuchung gesicherte, Hypästhesie der superfizialen Äste des Nervus genitofemoralis und ilioinguinalis mit passagerer Impotenz nach Spongiosaentnahme am Beckenkamm. In beiden Fällen kam es zu einer weitgehenden Besserung der Beschwerden.

Als "anhaltender Schmerz" in einem Fall wurden Schmerzen an der Entnahmestelle am Beckenkamm beschrieben, die über mehrere Wochen bestanden und nicht mehr durch das übliche Operationstrauma erklärt werden konnten.

Im Falle der Fraktur war das Knochenmaterial statt im Trochanterbereich etwas subtrochanter entnommen worden. Drei Monate post operationem entstand eine pathologische Fraktur im Bereich der Entnahmestelle; der Patient hatte das Bein nur verkantet aufgestellt, ein adäquates Trauma lag nicht vor.

Die Fraktur ist komplikationslos nach Plattenosteosynthese ausgeheilt (vgl. Bild 1, S. 26).

14.13. Art der Komplikationen am Transplantatlager

Die Komplikationsrate am Transplantatlager wird von einer Fülle transplantationsunabhängiger Faktoren beeinflußt: die jeweils besonderen Umstände der einzelnen Fälle, ob anatomischer Art wie Durchblutung und Innervation, ob physiologischer Art wie das Alter des Patienten oder operationstechnischer Art wie z.B. Nervenläsionen, müssen bei einer tabellarischen Übersicht unberücksichtigt bleiben.

Tabelle 2o a

Komplikationen am Transplantatlager n=2o2

Art der Komplikation	autogen	allogen	Kombination	insgesamt
Lockerung des OS-Materials	12	5	1	18
Infektion	2	5	1	8
Bruch des OS-Materials	1	5	-	6
Narben- bzw. Weichteilnekrose	3	3	-	6
Defektbildung (ohne Infekt)	3	3	-	6
operationsbedingte Nervenläsion (nicht Unfallfolge)	1	1	-	2
Sonstiges	4	3	1	8

Pseudarthrosenbildung wird nicht bei den Komplikationen, sondern bei den Einheilungsergebnissen (Kapitel 15.) aufgeführt. Die unter "Sonstiges" in Tabelle 2o a angegebenen vereinzelt aufgetretenen Komplikationen waren: eine Bursitis mit oberflächlichem Weichteildefekt ohne Infektion des Knochens; eine oberflächliche Thrombose; eine faustgroße

Schwellung des Operationsgebietes (nicht hämatombedingt), die sich unter krankengymnastischer Behandlung langsam zurückbildete; zweimal Klingenaustritt der Osteosyntheseplatte ins Hüftgelenk, davon einmal mit Femurkopfnekrose; einmal sudeckähnliche Beschwerden, die sich nach langer krankengymnastischer Behandlung besserten; und bei einem Patienten passageres Fieber und BSG-Erhöhung zwei Wochen post operationem ohne klinisches Substrat einer Infektion.

Tabelle 2o b Septischer Bereich

Komplikationen am Transplantatlager ..... n=21

Art der Komplikation	autogen	allogen	Kombination	insgesamt
Reinfektion	14	1	1	16
Narben-/Weichteilnekrosen	2	1	-	3
Lockerung des OS-Materials	1	-	-	1
Bruch des OS-Materials	1	-	-	1
operationsbedingte Nervenläsionen	-	1	-	1
Sonstiges	1	-	-	1

Die Zahl der Komplikationen übersteigt die Zahl der durchgeführten Operationen, da es in drei Fällen zu verschiedenen Komplikationen kam (z.B. Reinfektion und Materiallockerung).
In Tabelle 2o b wurde die Reinfektion nach Spongiosaanlagerung als Komplikation aufgefaßt, ebensogut könnte die Reinfektion als akute Phase im wellenförmigen Verlauf einer chronischen Osteomyelitis interpretiert werden.

14.14. Komplikationsrate am Transplantatlager

In Tabelle 2o a und b wurden sämtliche aufgetretenen Komplikationen angegeben und auf die Zahl der Operationen insgesamt bezogen, wobei Mehrfachnennungen die Regel waren, d.h., bei einem Patienten sind gleich mehrere Komplikationen aufgetreten, entweder sofort im Anschluß an die erste Operation oder im Verlauf evtl. notwendig gewordener Wiederholungsoperationen.
Um die eigentliche Komplikationsrate zu ermitteln, wird in Tabelle 21 a und b die Zahl der aufgetretenen Komplikationen auf die Anzahl operierter Patienten bezogen, ohne Berücksichtigung der Wiederholungsoperationen oder des Auftretens verschiedener Komplikationen beim selben Patienten.

Tabelle 21 a

Komplikationsrate . . . . . n=153

Herkunft des Materials	autogen	allogen	Kombination	insgesamt
Anzahl der Patienten, bei denen Komplikationen auftraten	22	18	1	41

Insgesamt waren also bei 41 von 153 operierten Patienten eine oder mehrere der in Tabelle 2o a angegebenen Komplikationen aufgetreten. Das entspricht einer Komplikationsrate von 27 %.

Tabelle 21 b Septischer Bereich

Komplikationsrate n=11

Herkunft des Materials	autogen	allogen	Kombination	insgesamt
Anzahl der Patienten, bei denen Komplikationen auftraten	7	1	1	9

Nur bei zwei von elf Patienten traten keine Komplikationen auf, bei allen andern kam es zur Reinfektion und zusätzlich zu den Komplikationen der Tabelle 2o b. Bei einem Teil dieser Patienten konnte durch wiederholte Spongiosaanlagerung später eine Ausheilung erreicht werden (vgl. Kapitel 15.).

14.15. Einheilungsergebnisse

Kriterium der Einheilung des Transplantates war die Beurteilung der Röntgenbilder, entsprechend den in Kapitel 15.2. angegebenen Gesichtspunkten.
Die Formulierung "Therapieziel erreicht trotz Teil- bzw. Totalresorption" in Tabelle 22 a und b bedeutet, daß es zu einem völligen knöchernen Durchbau kam, obwohl das Transplantat nach dem Röntgenbild völlig oder teilweise resorbiert war. "Resorption" ist ein Begriff, der primär nach radiologischen Kriterien, Strukturauflockerung bis zum völligen Verschwinden von Knochensubstanz beschreibt. Das pathologisch-anatomische Substrat des radiologischen Erscheinungsbildes könnte auch z.B. in einer einfachen Kalksalzminderung bestehen. Beobachtungen des Gesamteinhei-

lungsverlaufes, sowie die Ergebnisse von Vergleichen radiologischer mit histologischen Phänomenen (z.B. STRINGA, 1967) erlauben die Verwendung dieses allgemein eingeführten Begriffes im Bewußtsein dieser Problematik (vgl. auch Kapitel 15.4., S. 71).

Unter dem Begriff "klinisch eingeheilt" wurden diejenigen Fälle subsumiert, wo eine vollständige radiologische Dokumentation der Einheilung fehlte, durch die Angabe der Vollbelastung bzw. Arbeitsfähigkeit nach der Operation, klinisch eine Einheilung, zumindest aber das Erreichen des Therapiezieles vorausgesetzt werden darf.

Bei einer Reihe von Operationen mußte wiederholt Knochenmaterial angelagert werden, da das angelagerte Material nach der Erstoperation ganz oder teilweise resorbiert worden war. Solche Transplantationen mit nachfolgender Zweit- oder Drittoperation (vgl. Tabelle 25 a und b) wurden als "Operationen ohne endgültiges Ergebnis" gewertet.

Das Therapieziel wurde nicht erreicht bei Pseudarthrosenbildung und Totalresorption des Transplantates, ohne knöchernen Durchbau und ohne Erreichen der vollen Belastungsfähigkeit.

Tabelle 22 a

Einheilungsergebnisse	n=183
eingeheilt	77
Therapieziel erreicht trotz Teilresorption	23
Therapieziel erreicht trotz Totalresorption	8
klinisch eingeheilt	26
Gesamtzahl Therapieziel erreicht	134
Keine Einheilung, Therapieziel nicht erreicht	19
Operationen ohne endgültiges Ergebnis, die wiederholt wurden	3o

Ein Patient war nach Spongiosaanlagerung an den Folgen eines schweren Schädel-Hirn-Traumas mit Pneumonie zehn Tage post operationem verstorben.
In 18 Fällen war weder eine radiologische noch klinische Dokumentation zum Verlauf nach Abschluß der stationären Behandlung erfaßbar. Bezogen auf die Gesamtzahl der durchgeführten Operationen (2o2 abzüglich der 18 nicht dokumentierbaren Fälle, sowie des Todesfalles = 183) wurde in 74 % der Transplantationen das Therapieziel erreicht, in 1o,5 % war dies nicht möglich. Bei 16 % der Transplantationen kam es zunächst nicht zur Einheilung, sie wurden wiederholt. Da durch mehrfache Spongiosaanlagerung der größte Teil dieser Fälle zur Ausheilung gebracht werden konnte, ergab sich bezogen auf die Zahl der Patienten bzw. der operierten Fälle (153), daß das Therapieziel in 87,5 % erreicht und in 12,5 % verfehlt wurde.
Die Diskrepanz zwischen der Patientenzahl von 143 (162 abzüglich der 18 nicht dokumentierbaren Fälle sowie des Todesfalles) und der angegebenen Fallzahl von 153 entsteht dadurch, daß bei 1o Patienten Knochentransplantationen an verschiedenen Körperstellen durchgeführt worden waren, z.B. bei Arm- und Beinfraktur. Diese wurden jeweils als eigener Eingriff gewertet, da sie meist auch an unterschiedlichen Tagen stattfanden.

Tabelle 22 b Septischer Bereich

Einheilungsergebnisse	n=2o
eingeheilt	3
Therapieziel erreicht trotz Teilresorption	4
klinisch eingeheilt	1
Gesamtzahl Therapieziel erreicht	8
keine Einheilung, Therapieziel nicht erreicht	3
Operationen ohne endgültiges Ergebnis, die wiederholt wurden	9

In einem Fall war der Patient bei der Anlage eines Warrenshunt (6o Tage nach Spongiosaanlagerung wegen septischer Pseudarthrose des Schenkelhalses) verstorben.
Bezogen auf die Gesamtzahl der Transplantationen (21 abzüglich des Todesfalles) wurde in 4o % das Therapieziel erreicht und in 15 % verfehlt. Bei 45 % mußten weitere Spongiosaanlagerungen erfolgen.
Bezogen auf die Patientenzahl (11) zeigt sich, daß nach wiederholter Transplantation in 73 % der Fälle das Therapieziel doch noch erreicht werden konnte, bei 27 % dagegen war dies nicht möglich.

14.16. Vergleich autogener mit allogener Transplantation

Zum Vergleich der autogenen Transplantationen (n=99) mit den allogenen (n=84) werden die in Tabelle 22 a angegebenen Ergebnisse nach der Herkunft des Knochenmaterials aufgeschlüsselt. Die drei Fälle, in denen eine Kombination autogener mit Bankspongiosa vorgenommen worden war (zweimal Einheilung, einmal keine Einheilung), wurden in Tabelle 23 der Übersichtlichkeit halber unter die allogenen Übertragungen eingereiht.

Tabelle 23

Einheilung entsprechend der Herkunft des Knochenmaterials

Ergebnis	autogen n=99	1oo %	allogen n=84	1oo %
Eingeheilt	49		28	
Therapieziel erreicht trotz Teilresorption	1o		13	
Therapieziel erreicht trotz Totalresorption	3		5	
klinisch eingeheilt	11		15	
Gesamtzahl Therapieziel erreicht	73	74 %	61	72,5 %
keine Einheilung, Therapieziel nicht erreicht	11	11 %	8	9,5 %
Operationen ohne endgültiges Ergebnis, die wiederholt wurden	15	15 %	15	18 %

Nach Tabelle 23 war zunächst bei 74 % der autogenen und bei 72,5 % der allogenen Transplantationen das Therapieziel erreicht worden. Durch wiederholte Anlagerung von Knochenmaterial konnten diese Ergebnisse verbessert werden. Bezogen auf die Patientenzahl wurde bei 87 % von 84 Patienten, bei denen autogene Spongiosa überpflanzt worden war, das Therapieziel erreicht, ebenso bei 88 % von 69 Patienten nach allogener Transplantation.
Da im septischen Indikationsbereich nur zweimal allogenes Knochenmaterial (einmal davon in Kombination mit autogenem) verwendet worden war, erübrigt sich eine nähere Aufschlüsselung; beide Fälle allogener Überpflanzung sind jedoch eingeheilt.

Zur besseren Übersicht werden in Tabelle 24 noch einmal die Ergebnisse bezogen auf die Zahl der Patienten bzw. der Fälle dargestellt.

Tabelle 24

Einheilungsquote

	autogen n=84	allogen n=69	insgesamt n=153	septisch n=11
Therapieziel erreicht	(73) 87 %	(61) 88 %	(134) 87,5%	(8) 73 %
Therapieziel nicht erreicht	(11) 13 %	(8) 12 %	(19) 12,5%	(3) 27 %

Von den elf Fällen, in denen es nach autogener Knochenverpflanzung nicht zur Einheilung kam, waren fünf Spaneinbolzungen von Pseudarthrosen des Os scaphoideum nach Matti-Russe. Insgesamt war diese Operation im Berichtszeitraum elfmal vorgenommen worden; bei einem Patienten war der weitere Verlauf nach Abschluß der stationären Behandlung nicht zu eruieren.
Diese auffällige Häufung von Mißerfolgen gerade bei dieser speziellen Indikation legt die Vermutung nahe, daß die Ursache der Mißerfolge weniger transplantationsbedingt zu sein scheint (vgl. dazu Diskussion, Kapitel 17, S. 95).

14.17. Wiederholungsoperationen

Wiederholte Knochenmaterialanlagerung war bei 22 Patienten notwendig geworden, da das ursprünglich angelagerte Material weitgehend resorbiert worden war. Die Tabellen 25 a und b geben eine Übersicht über die Zahl der Wiederholungsoperationen, die pro Patient erforderlich waren.

Tabelle 25 a

Anzahl der Wiederholungs-Transplantationen (n=3o), die pro Patient (n=22) durchgeführt worden waren

Operation	1 x wiederholt	15	≙	15
Operation	2 x wiederholt	6	≙	12
Operation	3 x wiederholt	1	≙	3

Tabelle 25 b Septischer Bereich

Anzahl der pro Patient (n=5) durchgeführten Wiederholungs-Transplantationen (n=9)

Operation	1 x wiederholt	2	≙	2
Operation	2 x wiederholt	2	≙	4
Operation	3 x wiederholt	1	≙	3

14.18. Vollbelastung

Die volle Belastungsfähigkeit war im Durchschnitt 6 Monate nach der Operation gegeben, im septischen Indikationsbereich allerdings erst nach durchschnittlich 12 Monaten.

14.19. Beschwerden nach Abschluß der Behandlung

Für die Beurteilung des Therapieerfolges ist es wichtig, auch die Beschwerden zu erfassen, die dem Patienten nach Abschluß der ambulanten Nachbehandlung evtl. zurückbleiben. Tabelle 26 a und b gibt eine Übersicht über die angegebenen subjektiven und objektiven Beschwerden.

Tabelle 26 a

Beschwerden nach Abschluß der Behandlung	
Bewegungseinschränkung	34
Schmerzen bei Belastung	35
Schwellneigung	4
Fistel	2
Beinverkürzung	1

Insgesamt waren bei 35 (24,5 %) von 143 Patienten Beschwerden aufgetreten, darunter auch mehrfach wie z.B. Bewegungseinschränkung, Schmerz und Schwellneigung.

Tabelle 26 b Septischer Bereich

Beschwerden nach Abschluß der Behandlung	
Bewegungseinschränkung	4
Schmerzen bei Belastung	2
Schwellneigung	1
Fistel	4
Beinverkürzung	3

Im septischen Indikationsbereich war es bei 5 von 11 Patienten zu persistierenden Beschwerden nach Behandlungsabschluß gekommen; das entspricht einem Satz von 45 %.

14.2o. Minderung der Erwerbsfähigkeit

Eine Einstufung der Minderung der Erwerbsfähigkeit (MdE) erfolgte bei 31 Patienten, die berufsgenossenschaftlich versichert waren oder die Erstellung eines Gutachtens auf Veranlassung einer anderen Versicherung erfolgte.

Tabelle 27

Minderung der Erwerbsfähigkeit (MdE)

MdE in %:	1o %	2o %	3o %	4o %
Anzahl der Patienten	6	11	5	1

Im septischen Bereich war bei drei Patienten eine Einstufung der MdE erfolgt, alle drei Patienten wurden mit 2o % MdE eingestuft.
Nicht berücksichtigt wurde sowohl in den Tabellen 26 a und b, als auch in Tabelle 27 Beschwerden bei 8 Patienten, die zwar am operierten Körperteil lokalisiert, aber eindeutig nicht transplantationsbedingt waren, wie z.B. Bewegungseinschränkung nach traumatischem Nervenabriß und dadurch bedingter MdE.

15. Radiologische Beurteilung der Einheilungsvorgänge

15.1. Phasen der Transplantateinheilung nach radiologischen Gesichtspunkten

Anhand von Vergleichen zwischen mikroradiographischen Bildern von Knochentransplantaten und deren histologischer Aufarbeitung, beschrieb STRINGA (1967) folgende Phasen der "Transplantatentwicklung":

1. Phase "creeping invasion": Mit diesem Terminus bezeichnet sie die Vaskularisierung und das Eindringen mesenchymalen Gewebes aus dem Empfängerlager in das tote Transplantat. Diese Phase korreliert mit dem im Röntgenbild sichtbaren Prozess der Rarefizierung.

2. Phase "osteogeneic regeneration": Dieser Terminus beschreibt die Bildung neuer Knochensubstanz, sowohl innerhalb des Transplantates, wie in seiner Peripherie. Radiologisch entspricht diese Phase den Zeichen interstitieller und peripherer Knochenapposition.

3. Phase "functional adaption": Damit wird die strukturelle Umorganisierung des Transplantates entsprechend der lokalen Bedürfnisse in dem allgemeinen Prozess histologischer Modifizierung von Knochensubstanz beschrieben. Diese Phase entspricht der Umänderung und Neuausrichtung der ursprünglichen Transplantatstruktur im Röntgenbild.

Diese drei Phasen folgen normalerweise in der angegebenen Reihenfolge aufeinander. Sie können sich aber auch überlappen, eine scharfe Trennungslinie zwischen den einzelnen Phasen existiert nicht.

15.2. Kriterien für die Beurteilung der Einheilungsphasen im Röntgenbild

Zur Darstellung des zeitlichen Ablaufs der Transplantateinheilung wurde in Anlehnung an die Ergebnisse STRINGAs (1967) folgende Kriterien für die Beurteilung der jeweiligen Einheilungsphase des Transplantats im Röntgenbild aufgestellt:

1. Phase: Vaskularisierung

Das Transplantat kann im allgemeinen auf den intra- bzw. direkt postoperativ angefertigten Röntgenbildern infolge des Strukturunterschiedes deutlich vom Lager abgegrenzt werden.
Mit Einsetzen der Vaskularisierung treten Resorptionszeichen auf, man sieht eine Erweiterung der sichtbaren Trabekelzwischenräume. Insgesamt ergibt sich eine Verminderung der Strukturdichte im Vergleich zum intra- bzw. direkt postoperativen Bild.

2. Phase: Beginn der Einheilung

In dieser Phase kommt es wieder zu einer deutlichen Zunahme der Transplantatdichte, man erkennt appositionelles Knochenwachstum am Transplantat. Die Grenzen zwischen den einzelnen Bröckeln verwaschen, es ergibt sich eine wolkige, kompakte Struktur, wobei die spongiöse Struktur aber noch zu erkennen ist.

3. Phase: Beginn des funktionellen Umbaus

Der funktionelle Umbau des Transplantates ist im Röntgenbild an der Umstrukturierung der spongiösen Masse ersichtlich. Die Struktur wird strähnig, mit Brücken zwischen Transplantat und umgebendem Lager. Überflüssiger spongiöser Knochen wird abgebaut und die Trabekel richten sich entsprechend der biomechanischen Belastung aus. Das Transplantat insgesamt gleicht sich mehr und mehr an die Struktur seiner Umgebung an.

4. Phase: Abschluss des Einbaus

In der letzten Phase des Transplantateinbaus verdichten sich die kortikalen Anteile des Knochens, die Markhöhle ist wiederhergestellt, und im spongiösen Bereich sind die Trabekel entsprechend der Richtung der trajektoriellen Belastungszonen des Lagers ausgerichtet.

Eine Störung des Transplantateinbaus erscheint im Röntgenbild als Resorptionsprozess: diffuse Porose und Strukturauflockerung, die zum völligen Verschwinden von Teilen oder des gesamten Transplantates führt. Nicht gemeint sind damit die Vorgänge der Resorption und Apposition im Rahmen des "schleichenden Ersatz" (vgl. Kapitel 4.4.), wo die resorbierte nekrotische Knochensubstanz simultan durch vitalen Knochen ersetzt wird. Eine Sklerosierung der Transplantatstruktur ist Ausdruck einer Nekrose des transplantierten Gewebes.

15.3. Zeitlicher Ablauf der Transplantateinheilung: Ergebnisse

Nach eigenen Untersuchungen verlief die Phase der Vaskularisierung in der Regel relativ ungestört. Am Ende der zweiten Phase mit Apposition von Knochensubstanz, und besonders in der Phase des funktionellen Umbaus fiel die Entscheidung über das weitere Schicksal des Transplantates: bei biomechanisch stabilen Verhältnissen findet der weitere Umbau statt, bei unzureichender Stabilisierung erfolgt die Resorption des Transplantates. Die Phasen der "Transplantatentwicklung" nach STRINGA können prinzipiell auf autogene wie allogene Transplantationen angewendet werden. Aufgrund der in Kapitel 4. beschriebenen Vorgänge lief die Einheilung des allogenen Transplantates jedoch verzögert ab; die Zeiträume der einzelnen Phasen waren verlängert.

Tabelle 28

Durchschnittlicher zeitlicher Ablauf der Einheilungsphasen

	autogen	allogen	
1. Phase Revaskularisierung nach	5	9	Wochen
2. Phase Einheilungsbeginn nach	9	15	Wochen
3. Phase Beginn des funktionellen Umbaus nach	17	27	Wochen
4. Phase Einbau abgeschlossen nach	79	93	Wochen

Im septischen Bereich waren die Phasen der fünf eingeheilten Fälle nach autogener Transplantation wie folgt:
Revaskularisierung nach 7 Wochen,
Einheilungsbeginn nach 13 Wochen,
Beginn des funktionellen Umbaus nach 28 Wochen,
Abschluß des Transplantateinbaus nach 21,5 Monaten.

15.4. Problematik der radiologischen Beurteilung

Wie bei jeder retrospektiven Untersuchung, ergab sich das Problem der mangelnden Standardisierung. Die radiologischen Kontrollen waren nicht in engmaschigen standardisierten Kontrollabständen vorgenommen worden, sondern entsprechend der therapeutischen Notwendigkeit. Dadurch war eine gewisse Zufälligkeit in der Erfassung der einzelnen Einheilungsabschnitte nicht zu umgehen. Besonders bei der Beurteilung des Einheilungsabschlusses mußte vom Zeitpunkt

der angefertigten Röntgenaufnahmen ausgegangen werden, auch wenn die Einheilung entsprechend der angegebenen Kriterien evtl. schon früher abgeschlossen war.
Trotzdem ließ sich aus der Beurteilung der jeweiligen Gesamtverläufe ein einigermaßen gesetzmäßiger zeitlicher Ablauf der Einheilungsprozesse erkennen, da die radiologische Verlaufsbeobachtung mit dem therapeutischen Interesse der Informationsgewinnung, z.B. zur Beendigung der Ruhigstellung, zur Belastungsfreigabe oder Metallentfernung, korrelierte.
Ein weiteres Problem war die mangelnde Objektivierbarkeit: jede Röntgenbildbeurteilung ist letztlich eine subjektive Beobachtung. Durch die möglichst genaue Angabe der Beurteilungskriterien läßt sich zumindest die Nachvollziehbarkeit und Reproduzierbarkeit dieser Beurteilung erreichen.
Hierbei ist zusätzlich noch die unterschiedliche technische Ausfertigung der Röntgenbilder zu berücksichtigen, wie die Härte der Aufnahmen oder der Projektionswinkel. Aus anatomischen oder therapeutischen Gegebenheiten konnte in einigen Fällen eine Beurteilung nicht erfolgen: bei Impressionsfrakturen des Tibiakopfes mit Spongiosaunterfütterung ist die erste und zweite Phase der Einheilung oft nicht beurteilbar, ebenso in Fällen, wo unmittelbar postoperativ ein Gipsverband angelegt wurde, infolge der Überlagerung durch die Gipsstruktur.
Größere Zuverlässigkeit der Beurteilung wurde durch die Beobachtung des jeweiligen Gesamtverlaufs erzielt: in einigen Fällen erschien die eingebrachte Spongiosamenge in der Vaskularisierungsphase total verschwunden und war erst wieder in der Phase der Knochenapposition sichtbar. Es war also keine Resorption erfolgt, obwohl es bei der Beobachtung einzelner Röntgenbilder hätte so interpretiert werden müssen.
Trotz dieser methodischen Schwierigkeiten erscheint es gerechtfertigt, mit dieser Arbeit Grundlagen anzugeben, für eine spätere Objektivierung der Befunde durch densiometrische Methoden, wie die in neuester Zeit entwickelte Computeranalyse (Dual-Energy-Computer-Tomography).

16. Kasuistik

Fall 1: Patient S.R., 18 Jahre, Operation am 17.3.8o. Posttraumatische Osteomyelitis der Tibiadiaphyse. 9/79 war eine septische Spongiosatransplantation (BSG 115/16o) vorgenommen worden mit Refraktur. Jetzt im blanden Stadium (BSG 4/19) Anlage eines Fixateur externe, mit Anlagerung von Spongiosabröckeln vom Trochanter. Stationäre Behandlung: 28 Tage, Vollbelastung nach 8 Monaten.

A: präoperatives Bild

B: intraoperatives Bild

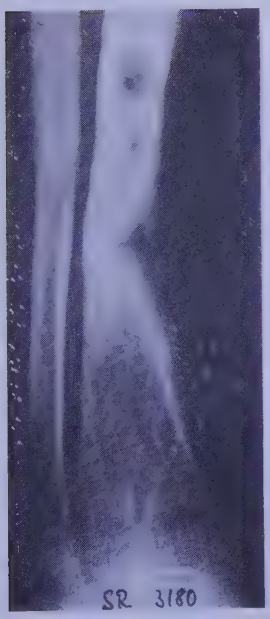
C: Revaskularisierung nach 7 Wochen (5/8o)

D: Einheilungsbeginn nach 11 Wochen (7/8o)

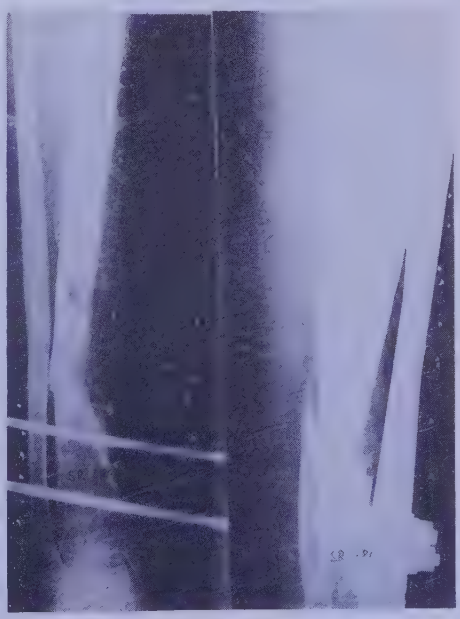
E: Beginn des funktionellen Umbaus nach 15 Wochen (8/8o)

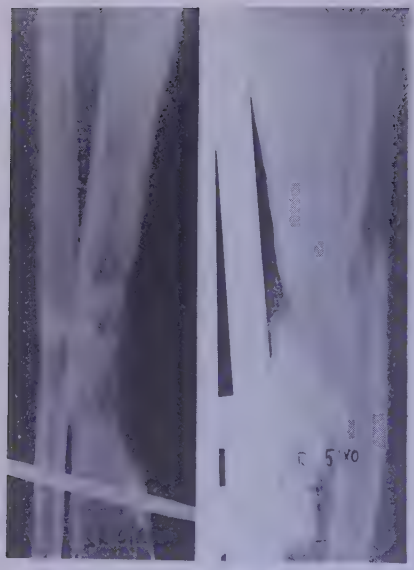
F: Einbau nahezu abgeschlossen nach 8 Monaten (1o/8o)

A

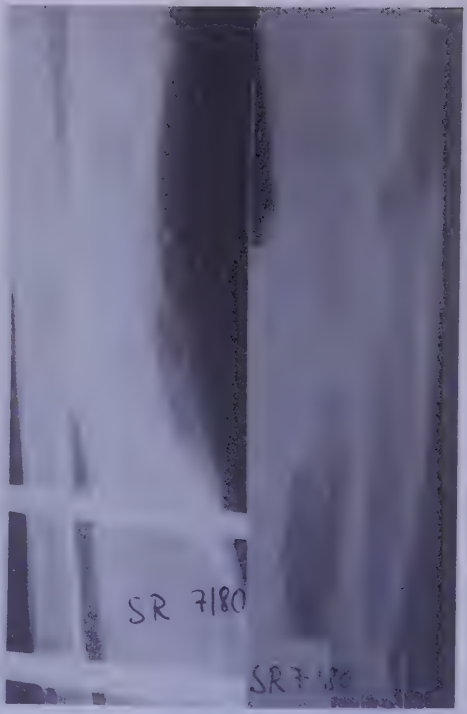


B





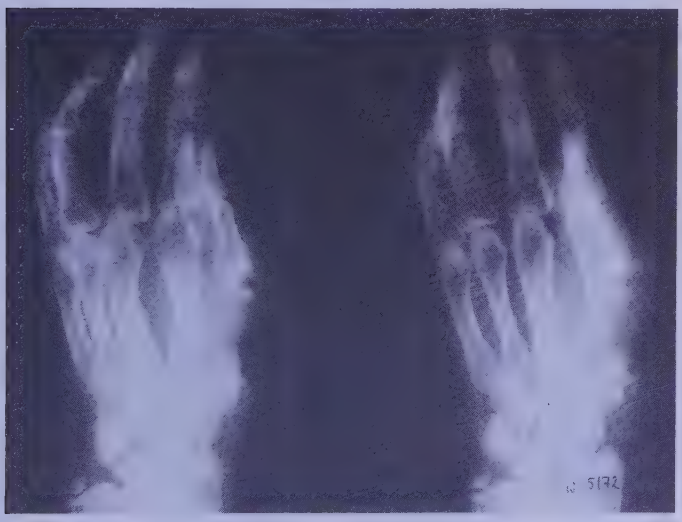
C



E

F

Fall 2: Patient S.W., 33 Jahre, Operation am 25.5.72.
Kreissägeverletzung der linken Hand mit Teilamputation des Os metacarpale I. Rekonstruktion des Daumens durch primäre Transplantation eines kortikospongiösen Spans vom Beckenkamm sowie einer Stiellappenplastik zur Deckung des Hautdefekts. Nach Einheilung des Transplantats und Metallentfernung (8 Monate p.op.) Fraktur in der Mitte des Transplantates (1 Monat nach Metallentfernung) mit osteosynthetischer Versorgung (Zuggurtung).
Stationäre Behandlung: 69 Tage,
endgültige Vollbelastung nach 2 Jahren.
MdE: 2o % (schwere Bewegungseinschränkung des Daumens).
A: präoperativ
B: beginnende Einheilung nach 9 Wochen (8/72)
C: beginnender funktioneller Umbau nach 13 Wochen (9/72)
D: Endergebnis (1/75)

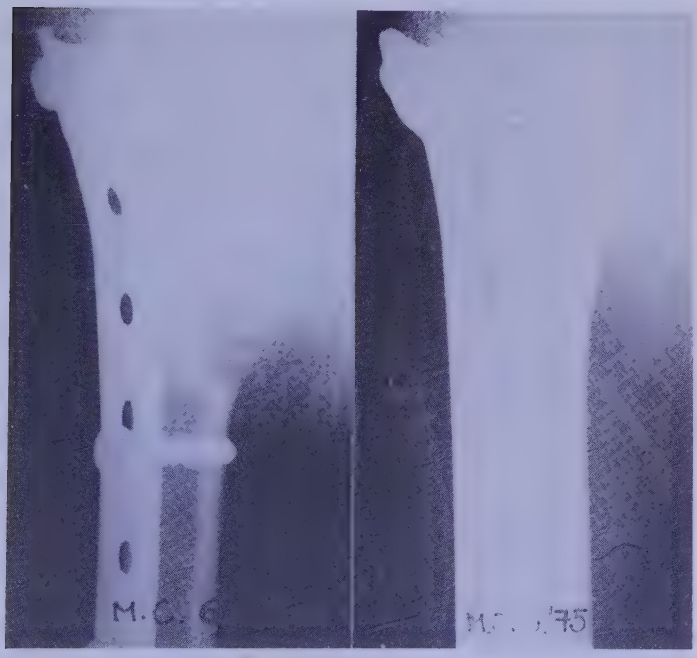


A

B

D

Fall 3: Patientin M.C., 21 Jahre, Operation am 6.6.75.
Ausräumung einer solitären Knochenzyste der Humerusmetaphyse und Füllung des Defekts mit Spongiosa von Beckenkamm, Trochanter und Tibiakopf. Anlage einer Plattenosteosynthese zur Neutralisation der Belastung.
Stationäre Behandlung: 21 Tage,
Vollbelastung nach 2 Monaten.
A: intraoperatives Bild
B: Revaskularisierung nach 4 Wochen (7/75)
C: funktioneller Umbau in Gang nach 6,5 Monaten (12/75)
D: Einbau abgeschlossen (9/77)

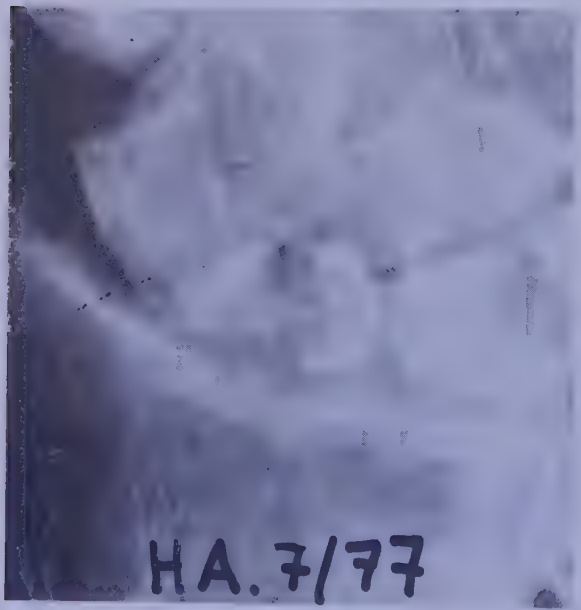


A

B
D

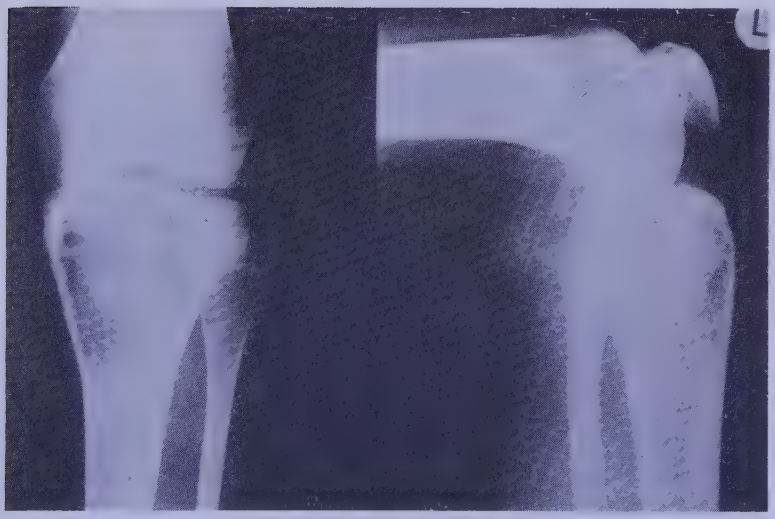
Fall 4: Patient H.A., 49 Jahre, Operation am 3o.6.76.
Spanbolzung einer Kahnbeinpseudarthrose nach Matti-Russe.
Stationäre Behandlung: 16 Tage,
Vollbelastung nach 7 Monaten, bei Bewegungseinschränkung mit erheblicher Osteoporose.
A: gestörte Vaskularisierung (9/76)
B: Kontrolle (2/77)
C: teilweise Einbau, teilweise Nekrose mit Stufenbildung und Arthrose (7/77)

B

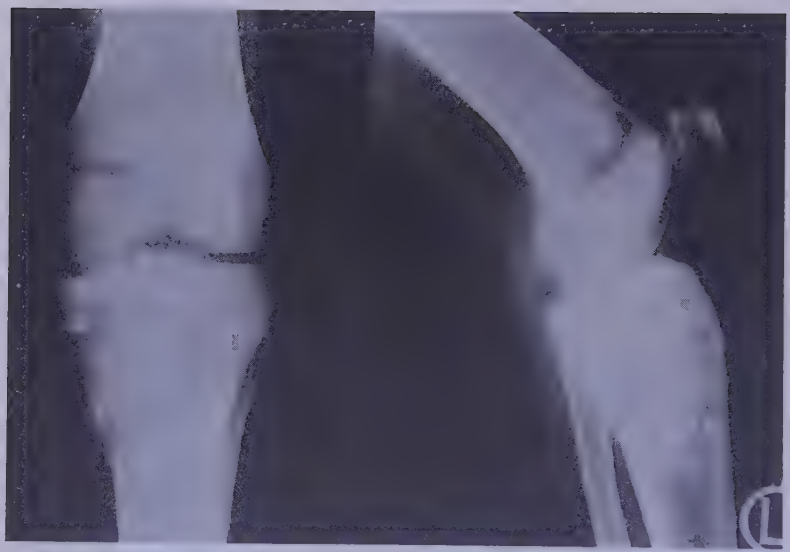


C

Fall 5: Patientin R.M., 25 Jahre, Operation am 28.12.71. Ausräumung eines Riesenzelltumors des Tibiakopfes. Füllung des großen Defekts mit Spongiosa vom rechten und linken Beckenkamm sowie allogenem Material aus der Knochenbank. Spongiosasäulen wurden senkrecht eingepaßt zur Gelenkflächenabstützung und ein kortikospongiöser Span als Deckel aufgesetzt.
Stationäre Behandlung: 45 Tage,
Belastung nach 1o Monaten.
A: präoperatives Bild
B: Revaskularisierung nach 5 Wochen (2/72)
C: funktioneller Umbau in Gang (4/73)
D: Endergebnis (9/77)



A



B

C

D

Fall 6: Patient S.M., 22 Jahre, Operation am 9.11.77.
Korrekturosteotomie einer in Achsenfehlstellung und Verkürzung ausgeheilten Fraktur (Unfall ein Jahr zuvor, 1o/76) mit Marknagelung. Verriegelung mittels eines autogenen Beckenkammsegmentes.
Stationäre Behandlung: 33 Tage,
Vollbelastung nach 4,5 Monaten.
A: postoperative Bilder (11/77)
B: Revaskularisierung nach 4 Wochen (12/77)
C: Einheilungsbeginn nach 8 Wochen (1/78)
D: funktioneller Umbau in Gang (3/78)
E: Einbau abgeschlossen nach 2 Jahren (11/79)

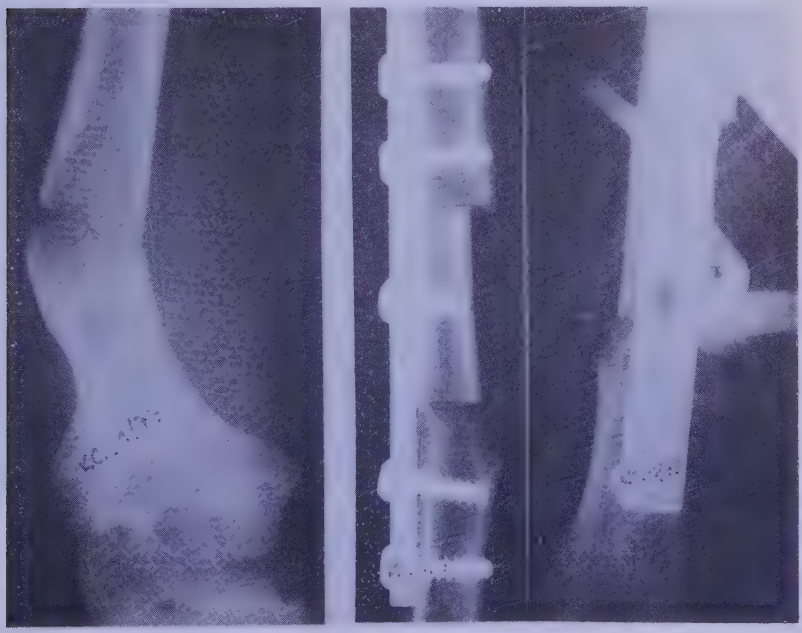
A

B
C
D
E

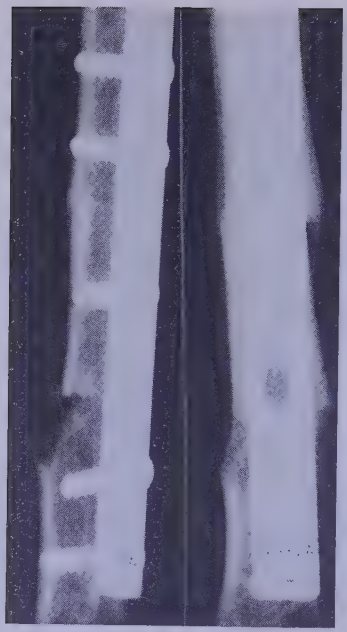
Fall 7: Patientin K.C., 1o Jahre, Operationen am 15. und 29.1.73. Fibröse Knochendysplasie (Jaffé-Lichtenstein-Uehlinger). Kontinuitätsresektion osteolytischer Herde in Humerus- und Femurdiaphyse. Am Humerus bereits pathologische Fraktur. Überbrückung durch allogene Vollknochentransplantate von 6 bzw. 8 cm Länge aus der Knochenbank. Fixierung in beiden Lokalisationen mittels Plattenosteosynthese.
Stationäre Behandlung: 123 Tage,
Vollbelastung insgesamt nach 1o Monaten.

1. Humerus

A: präoperatives Bild
B: intraoperativ
C: Einheilungsbeginn nach 8 Wochen (3/73)
D: funktioneller Umbau begonnen nach 13 Wochen (4/73)
E: Einheilung noch nicht ganz abgeschlossen (2/74)

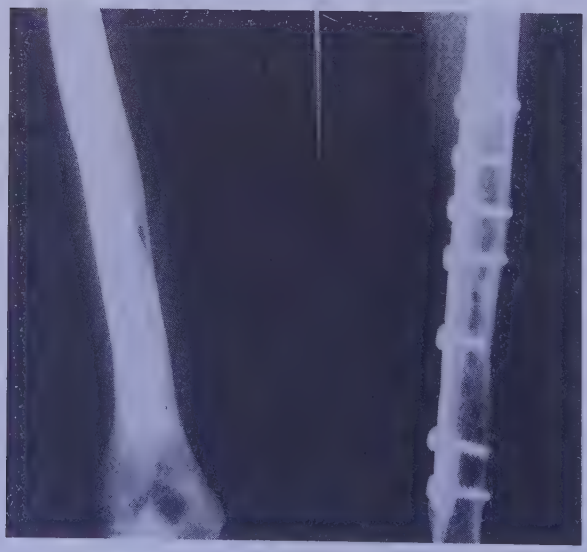


A B



D

D

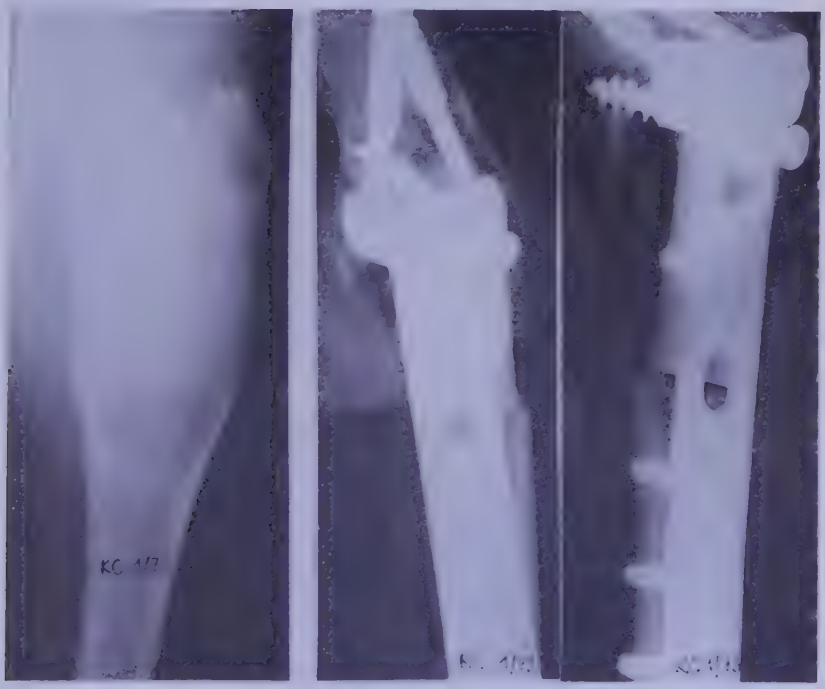


E

Fortsetzung Fall 7, Patient K.C.

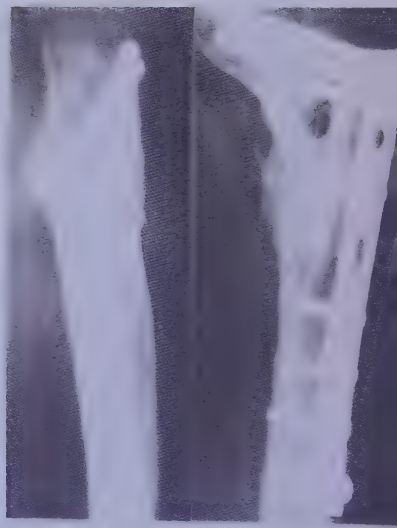
2. Femur

A: präoperativ
B: intraoperativ
C: Einheilungsbeginn nach 8 Wochen (3/73)
D: funktioneller Umbau begonnen nach 12 Wochen (4/73)
E: Einheilung weitgehend durch periostale Apposition, das Transplantat erscheint nur wenig verändert (2/74)



A B

C

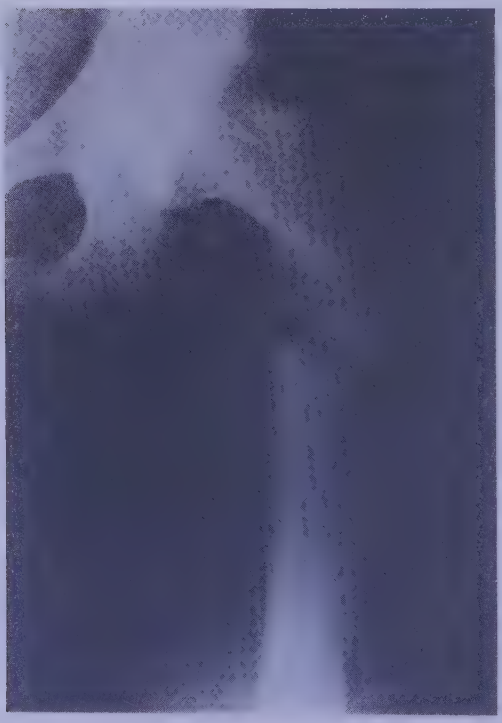


B

D

Ergänzend wurden die folgenden beiden Fälle in die Kasuistik aufgenommen, die in den statistischen Angaben nicht berücksichtigt wurden, wegen unterschiedlicher Konservierung (Fall 8) und Fall 9, weil er außerhalb des Berichtszeitraumes liegt.

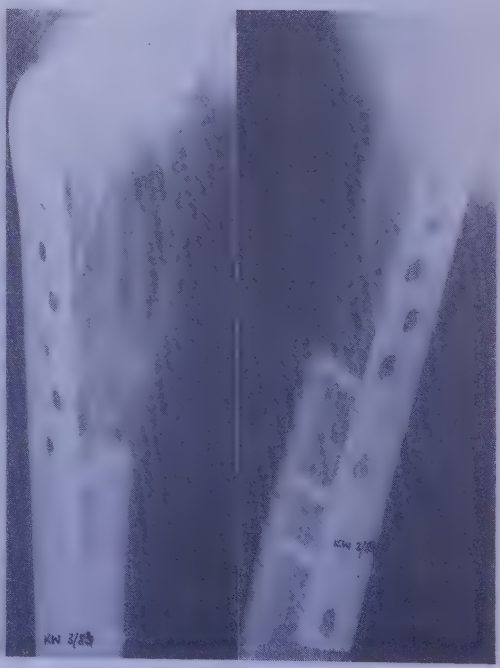
Fall 8: Patientin M.U., 31 Jahre, Operation am 24.6.75. Eine Woche zuvor Tumorausräumung und Pallakosauffüllung an der proximalen Femurdiaphyse, bei Verdacht auf Sarkom. Histologische Diagnose: Osteomyelitis ossificans; jetzt zusätzlich pathologische Fraktur im Bereich der Ausräumungsstelle. Pallakosentnahme und Defektfüllung mit einem cialitkonservierten, allogenen Spongiosablock sowie Plattenosteosynthese.
Stationäre Behandlung: 95 Tage.
A: präoperativ (6/75)
B: Einheilungsbeginn nach 2 Monaten (8/75)
C: funktioneller Umbau in Gang nach 4 Monaten (1o/75)
D: Einbau weitgehend abgeschlossen (8/77)



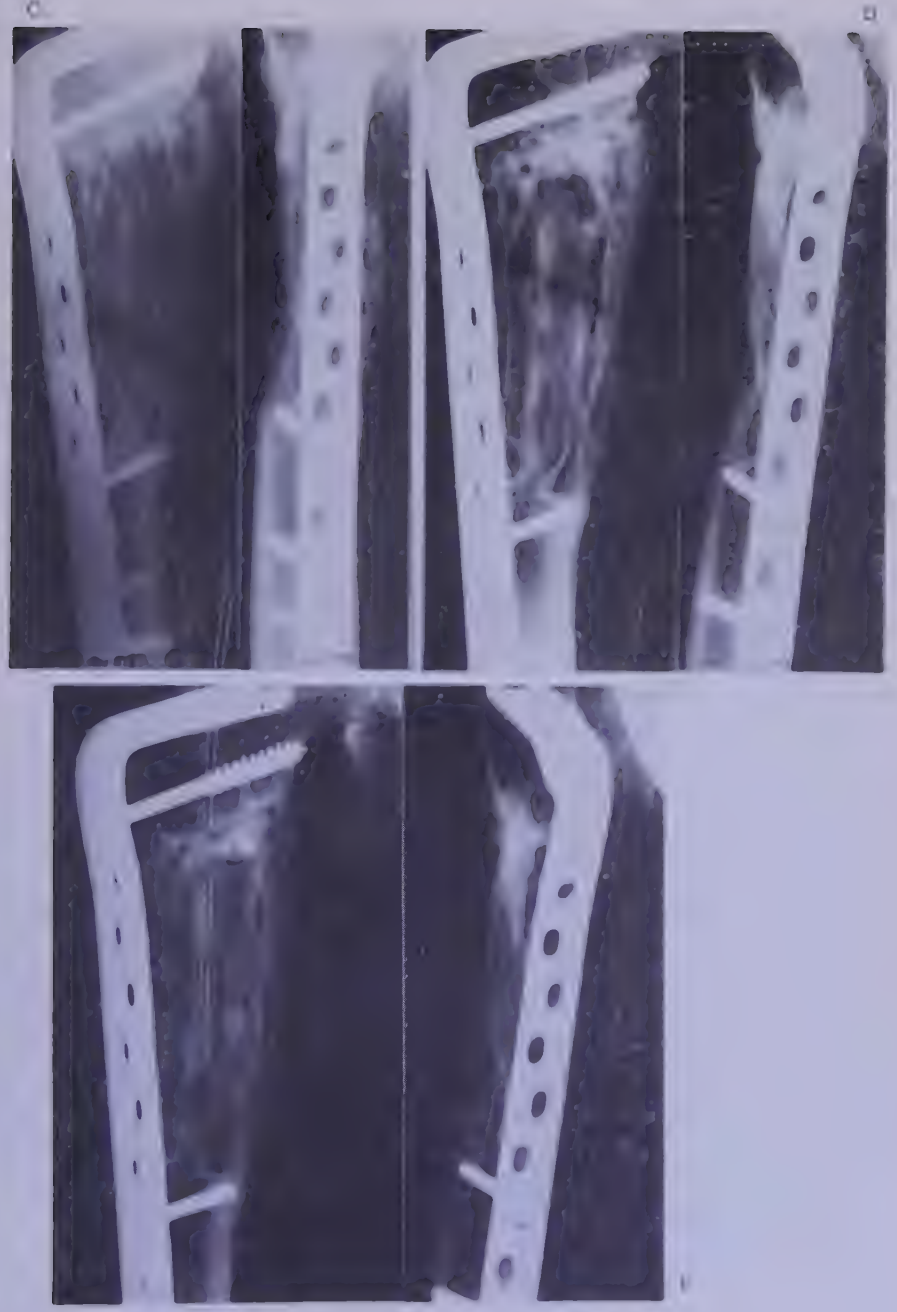
A

Fall 9: Patient K.W., 18 Jahre, Operation am 21.2.83.
Kontinuitätsresektion bei Rezidiv einer juvenilen Zyste der proximalen Femurdiaphyse. Defektfüllung mit zwei autogenen gespaltenen Rippentransplantaten, sowie autogener Spongiosa vom Beckenkamm in Verbindung mit Plattenosteosynthese.
Stationäre Behandlung: 46 Tage,
Vollbelastung nach 1o Monaten.
A: präoperatives Bild
B: Revaskularisierung nach 4 Wochen (3/83)
C: Einheilung in Gang (5/83)
D: funktioneller Umbau (8/83)
E: Einheilung noch nicht ganz abgeschlossen (11/83)

A



B



17. Diskussion

Obwohl eine Reihe von Autoren über klinische Erfahrungen mit Knochentransplantationen berichteten (HOLZ et al. 1982; KUNER et al. 1972; MENTZEL und GRAEBER 1980; MEZNIC und SLANCAR 1969; REHM et al. 1980; ROGGE und TRENTZ 1980; SPRING und MARTI 1975; VERBEEK und KINGMA 1973; u.a.) ist ein Vergleich der Ergebnisse problematisch.
Allein schon die Unterschiedlichkeit in der Darstellung, die Uneinheitlichkeit der Beurteilungskriterien sowie die Unvollständigkeit mancher Informationen, läßt einen Vergleich schon aus rein formalen Gründen nicht zu. Genauso schwierig erscheint ein Vergleich aus inhaltlichen Gründen, da jedes Untersuchungskollektiv seine spezielle Zusammensetzung und seine spezielle Problematik hat, oft völlig unabhängig von den Bedingungen für die Transplantation. Hinzu kommt noch die unterschiedliche Behandlung des zu transplantierenden Materials, die Dauer und Art der Aufbewahrung unmittelbar vor der autogenen Transplantation und die Art der Konservierung bei allogenem Material.
Ausdruck dieser Problematik sind die zum Teil recht unterschiedlichen Angaben der Ergebnisse.
HOLZ et al. (1982) berichten von Heilungsquoten zwischen 87 und 92 %, je nach Indikation, bei einem indikationsmäßig einigermaßen ähnlich zusammengesetzten Kollektiv (n=397), allerdings nur aseptischer, autogener Transplantationen.
Bei ähnlichen Indikationen geben REHM et al. (1980) von 345 autogenen Spongiosaplastiken, darunter allerdings ein Viertel mit septischen Verhältnissen, eine volle Belastbarkeit von 91,9 % an, bei jedoch bis zu viermal (in zwei Fällen) durchgeführten Spongiosaanlagerungen.
MENTZEL und GRAEBER (1980) gaben eine Mißerfolgsquote von 15,5 % an, von 395 autogenen Spongiosaplastiken bei Osteotomien und Pseudarthrosen.

VERBEEK und KINGMA (1973) berichteten über 86,6 % autogene und 87,3 % allogene (kältekonservierte) erfolgreiche Knochentransplantationen von 958 Knochentransplantationen insgesamt.
ROGGE und TRETZ (198o) erzielten bei allogenen tiefgefrorenen Spongiosatransplantationen in 65,9 % von 116 Patienten ein "zufriedenstellendes Ergebnis".
SPRING und MARTI (1975) berichteten über "gute Resultate" bei 35 kontrollierten Fällen von 5o frischen allogenen Spongiosatransplantationen mit einem Einbau innerhalb von durchschnittlich 3 Monaten.
Bei den eigenen Ergebnissen war in 87 % der autogenen und 88 % der allogenen (kältekonservierten) Transplantationen des aseptischen Indikationsbereichs das Therapieziel "volle Belastung bzw. Arbeitsfähigkeit" erreicht; in einem Teil der Fälle war dies allerdings trotz völliger Resorption des Transplantates (vgl. Kapitel 15.) gelungen.
Eine auffällige Häufung von Mißerfolgen gab es bei der Behandlung der Kahnbeinpseudarthrose mit der Spaneinbolzung nach Matti-Russe. Von den 1o untersuchten Patienten war es in der Hälfte der Fälle zur partiellen oder totalen Resorption des Spanes mit erneuter Pseudarthrose gekommen.
HOLZ el al. (1982) geben eine Heilungsquote von 89 % bei 98 Operationen mit der Technik nach Matti-Russe an, MARTINI und SCHUHMACHER (198o) 9o % von 61 Operationen, und VOSSMANN (1983) sogar 95,4 % von 65 Operationen.
Nach VOSSMANN war für die hohe Erfolgsquote auch das geringe Alter der Pseudarthrose bzw. der veralteten Fraktur verantwortlich. In zwei Dritteln seiner Fälle hatte die Pseudarthrose nicht länger als 3 Jahre bestanden, und bei den 3 Pseudarthrosen, die er nicht zur Ausheilung bringen konnte, lag das Unfallereignis je 5, 1o und 15 Jahre zurück.
Neben dem Alter der Pseudarthrose ist ihre anatomische Lage von Bedeutung. Pseudarthrosen im körpernahen Drittel des Kahnbeins sind nach MARTINI und SCHUHMACHER problematisch: Abhängig von der Vaskularisierung des kleinen proxi-

malen Fragments muß dieses, falls es nekrotisch ist, entfernt werden, da eine Spongiosaplastik in solchen Fällen von vorneherein zum Scheitern verurteilt sei. Für die Operationstechnik ist noch die richtige Wahl des kortikospongiösen Spanes vom Beckenkamm wichtig; ist er zu dünn, besteht die Gefahr der Frakturierung und der mangelnden Stabilität. Ein zu langer Span kann zur Distraktion der Pseudarthrosestücke mit bindegewebiger Einwucherung führen. Bei einem zu kleinen Span erfolgt nach VOSSMANN seine Einheilung oft nur im distalen, besser vaskularisierten Fragment, während es im proximalen Fragment zur Resorption kommen kann.
Ähnliche Ursachen scheinen auch bei den eigenen Patienten an den Mißerfolgen beteiligt zu sein, in einem Fall lag das Trauma 15 Jahre zurück, mehrmals war es zur Teilnekrose des proximalen Spananteils gekommen.

Detailierte Angaben zu den Einheilungszeiten eines Knochentransplantates nach radiologischen Gesichtspunkten sind in der Literatur nur in beschränkter Anzahl zu finden, zumeist erfolgt nur eine pauschale Angabe der knöchernen Durchbauung oder Einzelangaben in Form einer Kasuistik. HOLZ et al. (1982) berichten über das autogene Transplantat, daß der vollständige Einbau bei Frakturen, Pseudarthrosen und Osteotomien an Ober- wie Unterschenkel jeweils etwa gleich lang, zwischen 3 und 8 Monaten, dauerte. Bei Pseudarthrosen des Unterarms und des Kahnbeins war die strukturelle Einheilung bereits nach 6 Monaten abgeschlossen. Nach Resektion zystischer, tumorähnlicher Läsionen dauerte die strukturierte Defektüberbrückung 6 bis 12 Monate.
Nach den eigenen Ergebnissen war der Einbau des autogenen Transplantates im Durchschnitt erst nach 19,7 Monaten sicher abgeschlossen, entsprechend der Kriterien in Kapitel 15.2.. Da das Röntgenbild in dieser späten Phase meist zur Beurteilung der Frage der Metallentfernung angefertigt worden war, darf angenommen werden, daß das Transplantat im

allgemeinen schon etwas früher vollständig eingebaut war.
Die allogenen Transplantate waren in allen Phasen mit durchschnittlich 1 bis 4 Monaten Verzögerung gegenüber den autogenen eingeheilt. Die kürzeste Verzögerung dabei war in der Revaskularisierungsphase (4 Wochen) mit einem Anstieg auf 6 Wochen in der Phase des Einheilungsbeginns und auf 2,5 Monate Verzögerung bis zu Beginn des funktionellen Umbaus. Diese Ergebnisse bestätigen die in Kapitel 5. dargestellten Erkenntnisse über die unterschiedlichen Vorgänge bei der Verpflanzung von allogenem gegenüber autogenem Knochenmaterial.

18. Zusammenfassung

- Es wurden 223 Knochentransplantationen bei 174 Patienten untersucht, die von 1971 bis 1982 in der Chirurgischen Universitätsklinik in Tübingen durchgeführt worden waren.
- Die Indikation zur Knochentransplantation war bei der Behandlung von Frakturen 73 mal (33 %), von Pseudarthrosen 62 mal (28 %), von Tumoren 45 mal (2o %) und bei Korrektur-Osteotomien 18 mal (8 %) gestellt worden. 21 mal wurde Knochenmaterial in Zusammenhang mit der Ausräumung eines septischen Prozesses angelagert.
- Von den 2o2 aseptischen Transplantationen wurde bei 53,5 % autogenes Material verpflanzt, bei 45 % allogenes Material aus der Knochenbank und bei 1,5 % eine Kombination von autogenem mit allogenem Material.
- Die gebräuchlichste Entnahmestelle autogenen Knochenmaterials war der vordere Beckenkamm mit 76 % aller Entnahmen.
- Die Gesamtrate der Komplikationen an der Entnahmestelle nach autogener Knochenentnahme betrug 3,9 %.
- Am Transplantatlager waren bei 41 von 153 nicht septischen Patienten Komplikationen aufgetreten, das entspricht einer Rate von 27 %.
- In 87 % der autogenen und 88 % der allogenen Verpflanzungen war das Therapieziel erreicht worden, in einer Reihe von Fällen allerdings erst nach mehrfacher Anlagerung von Knochenmaterial.
- Bei einem Viertel der Patienten waren Beschwerden wie Schmerzen bei Belastung oder Bewegungseinschränkung auch nach Abschluß der Nachbehandlung zurückgeblieben.
- Fünf der 1o untersuchten Operationen nach Matti-Russe zur Behandlung der Kahnbeinpseudarthrose erbrachten keine Heilung.

- Es wurden Kriterien aufgestellt für die Beurteilung und Beschreibung des Einheilungsverlaufs von Knochentransplantaten im Röntgenbild:
  1. Phase: Revaskularisierung.
  Resorptionszeichen, Erweiterung der sichtbaren Trabekelzwischenräume, Verminderung der Strukturdichte im Vergleich zum intraoperativen Bild.
  2. Phase: Einheilungsbeginn.
  Appositionelles Knochenwachstum am Transplantat, Zunahme der Transplantatdichte, wolkige kompakte Struktur, spongiöse Struktur aber noch erkennbar.
  3. Phase: Beginn des funktionellen Umbaus.
  Umstrukturierung der spongiösen Transplantatmasse, strähnige Struktur mit Brückenbildung zwischen Transplantat und Lager, Abbau überflüssigen spongiösen Knochens, Ausrichtung der Trabekel entsprechend der biomechanischen Belastung. Das Transplantat paßt sich langsam an seine Umgebung an.
  4. Phase: Abschluß des Einbaus.
  Verdichtung der kortikalen Knochenanteile, Wiederherstellung der Markhöhle, im spongiösen Bereich sind die Trabekel entsprechend der Richtung der trajektoriellen Belastungszonen des Lagers ausgerichtet.
- Der zeitliche Ablauf der Einheilung nach radiologischen Gesichtspunkten wurde dargestellt.
  Die Revaskularisierung des autogenen Transplantates erfolgte im Durchschnitt nach 5 Wochen, der Einheilungsbeginn nach 9 Wochen, der Beginn der funktionellen Umstrukturierung nach 4 Monaten, die Einheilung war nach 2o Monaten abgeschlossen. Nach allogener Transplantation waren alle Phasen um 1 bis 4 Monate verzögert.

Die Bedeutung der autogenen wie allogenen Knochentransplantation wurde durch die Ergebnisse überzeugend bestätigt.

19. Literatur

Albrektsson, T. und L. Linder: Intravital, Long-Term Follow-up of Autologous Experimental Bone Grafts. Arch. Orthop. Traumat. Surg. 98, 189-193, (1981)

Annersten, S.: Experimentelle Untersuchungen über die Osteogenese und die Biochemie des Fracturcallus. Acta Chir. Scand. 84 (Suppl. 6o) 1-181 (194o)

Arbes, H., P. Bösch, F.Lintner und M. Salzer: First Clinical Experience with Heterologous Cancellous Bone Grafting Combined with the Fibrin Adhesive System (F.A.S.). Arch. Orthop. Traumat. Surg. 98, 183-188 (1981)

Axhausen, G.: Histologische Untersuchungen über Knochentransplantationen am Menschen. Dtsch. Z. Chir. 91, 388-428 (19o8)

Axhausen, G.: Die histologischen und klinischen Gesetze der freien Osteoplastik auf Grund von Thierversuchen. Langenbecks Arch. klin. Chir. 88, 23-145 (19o9)

Axhausen, W.: Die Knochenregeneration - ein zweiphasisches Geschehen! Zbl. Chir. 77, 435-442 (1952)

Barth, A.: Über histologische Befunde nach Knochenimplantationen. Langenbecks Arch. klin. Chir. 46, 4o9-417 (1893)

Bösch, P., F. Braun und H.P. Spängler: Die Technik der Fibrinspongiosaplastik. Arch. orthop. Unfall-Chir. 9o, 63-75 (1977)

Burchardt, H.: The Biology of Bone Graft Repair.
Clin. Orthop. 174, 28-42 (1983)

Burnet, F.M.: Immunological Recognition of Self.
Science 133, 3o7-311 (1961)

Burwell, R.G.: Osteogenesis in Cancellous Bone Grafts:
Considered in Terms of Cellular Changes,
Basic-Mechanism and the Perspective of Growth
Control and its Possible Aberrations.
Clin. Orthop. 4o, 35-47 (1965)

Bush, L.F. und C.Z. Garber: The Bone Bank.
J. Am. Med. Ass. 137, 588-594 (1948)

Challis, J.H., J.A. Lyttle und A.E. Stuart: Strangulated
Lumbar Hernia and Volvulus Following Removal
of Iliac Crest Bone Graft. Acta Orthop. Scand.
46, 23o-233 (1975)

Chalmers, J.: Transplantation Immunity in Bone Homografting.
J. Bone Joint Surg. 41 B, 16o-179 (1959)

Chase, S.W. und C.H. Herndon: The Fate of Autogenous and
Homogenous Bone Grafts. A Historical Review.
J. Bone Joint Surg. 37 A, 8o9-841 (1955)

Deubner, L.: Kosmas und Damian. Texte und Einleitung.
Teubner, Berlin, Leipzig, 19o7
Neudruck der Ausgabe Leipzig:
Scientia , Aalen 198o

Duhamel de Monceau, H.: Sur le développement et la crue des
os des animaux Paris 1742.
Zitiert in Chase, S.W. und C.H.Herndon: The
Fate of Autogenous and Homogenous Bone Grafts.
J. Bone Joint Surg. 37 A, 8o9-841 (1955)

Ehrlich, M.G., J. Lorenz, W.W. Tomford und H.J. Mankin: Collagenase in Banked Bone. (Submitted for publication)
Zitiert in: Tomford, W.W., S.H. Doppelt, H.J. Mankin und G.E. Friedlaender: 1983 Bone Bank Procedures. Clin. Orthop. 174, 15-21 (1983)

Eitel, F., L. Schweiberer, K. Saur, L.T. Dambe und F. Klapp: Theoretische Grundlagen der Knochentransplantation: Osteogenese und Revascularisation als Leistung des Wirtslagers.
In: Transplantatlager und Implantatlager bei verschiedenen Operationsverfahren.
16. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Plastische und Wiederherstellungschirurgie 1978, Hrsg. Hierholzer, G. und H. Zilch.
Springer, Berlin Heidelberg 198o

Excalas, F. und R. Dewald: Combined Traumatic Arteriovenous Fistula and Uretral Injury: A Complication of Iliac Bone-Grafting. J. Bone Joint Surg. 59 A, 27o-271 (1977)

Fichtner, G.: Das verpflanzte Mohrenbein - Zur Interpretation der Kosmas- und -Damian-Legende.
Medizinhistorisches Journal 3, 87-1oo (1968)

Friedlaender, G.E.: Editorial comment.
Clin. Orthop. 174, 2-4 (1983)

Gerngroß, H., C. Burri, L. Kinzl, J. Merk, G.-W. Müller: Komplikationen an den Entnahmestellen autologer Spongiosatransplantate.
Akt. Traumatol. 12, 146-152 (1982)

Goldhaber, P.: Osteogenic Induction across Millipore Filters in vivo. Science 133, 2o65-2o67 (1961)

Holz, U., S. Weller und S. Borell-Kost: Indikation, Technik und Ergebnisse der autogenen Knochentransplantation. Chirurg 53, 219-224 (1982)

von Haller, A.: Experimenta de ossium formatione. Opera minora. Lausanne 1763.
Zitiert in: Chase, S.W. und C.H. Herndon: The Fate of Autogenous and Homogenous Bone Grafts. J. Bone Joint Surg. 37 A, 8o9-841 (1955)

Heiple, K.G., S.W. Chase und C.H. Herndon: A comparative Study of the Healing Process Following Different Types of Bone Transplantation. J. Bone Joint Surg. 45 A, 1593-1616 (1963)

Heiple, K.G., C.H. Herndon, S.W. Chase und A. Wattleworth: Osteogenic Induction by Osteosarcoma and Normal Bone in Mice. J. Bone Joint Surg. 5o A, 311-325 (1968)

Hutzschenreuter, P.: Beschleunigte Einheilung von allogenen Knochentransplantaten durch Präsensibilisierung des Empfängers und stabile Osteosynthese. Langenbecks Arch. klin. Chir. 331, 321-343 (1972)

Kuner, E.H., F.Weyand und B. Domres: Zur Leistungsfähigkeit autologer Spongiosa bei der Behandlung knöcherner Defekte. Mschr. Unfallheilkunde 75, 189-2o2 (1972)

Levander, G.: A Study of Bone Regeneration. Surg. Gynec. Obstet. 67, 7o5-714 (1938)

Lexer, E.: Die freien Transplantationen. Neue Dtsch. Chir. 26 b, Enke, Stuttgart 1924

Martini, A.K. und G. Schuhmacher: Gefahren und Fehlerquellen bei der Verblockung der Kahnbeinpseudarthrose an der Hand unter besonderer Berücksichtigung des Transplantatlagers. In: Transplantatlager und Implantatlager bei verschiedenen Operationsverfahren. 16. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Plastische und Wiederherstellungschirurgie 1978. Hrsg. Hierholzer, G. und H. Zilch. Springer, Berlin Heidelberg 198o

Matti, H.: Über die Behandlung von Pseudarthrosen mit Spongiosatransplantation. Arch. orthop. Unfallchir. 31, 218-231 (1932)

Matti, H.: Technik und Resultate meiner Pseudarthrosenoperation. Zbl. Chir. 63, 1442-1453 (1936)

McLean, F.C. und M.R. Urist: Bone. Fundamentals of the Physiology of Skeletal Tissue. 3rd. Edition, University of Chikago Press, Chikago 1968

Medavar, P.B.: Immunological Tolerance. Science 133, 3o3-3o6 (1961)

Mentzel, H.E. und M. Graeber: Mißerfolge der Spongiosaplastik bei Osteotomien und Pseudarthrosenoperationen. In: Implantate und Transplantate in der Plastischen und Wiederherstellungschirurgie. 17. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Plastische und Wiederherstellungschirurgie 1979, Hrsg. Cotta, H. und A.K. Martini. Springer, Berlin Heidelberg 1981

Meznik, F. und P. Slancar: Klinische Ergebnisse auto-, homo- und heterologer Knochentransplantationen. Z. Orthop. 1o5, 465-484 (1969)

Müller, M.E., M. Allgöwer, R. Schneider und H. Willenegger: Manual der Osteosynthese. AO-Technik. 1. Auflage (1969) und 2. Auflage, Springer, Berlin Heidelberg New York, 1977

Ollier, L.: Traité experimentale et clinique de la régéneration des os et de la production artificielle du tissu osseux. Paris 1867. Zitiert in: Chase, S.W. und C.H. Herndon: The Fate of Autogenous and Homogenous Bone Grafts. J. Bone Joint Surg. 37 A, 8o9-841 (1955)

Pelker, R.R., G.E. Friedlaender und T.C. Markham: Biomechanical Properties of Bone Allografts. Clin. Orthop. 174, 54-57 (1983)

Ray, R.D. und T.Y. Sabet: Bone Grafts: Cellular Survival Versus Induction. An Experimental Study in Mice. J. Bone Joint Surg. 45 A, 337-344 (1963)

Rehm, K.E., C. Neubert, R. Haas und H. Ecke: Der Stellenwert der autologen Spongiosaplastik in der operativen Knochenchirurgie. In: Implantate und Transplantate in der Plastischen und Wiederherstellungschirurgie. 17. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Plastische und Wiederherstellungschirurgie 1979. Hrsg. Cotta, H. und A.K. Martini. Springer, Berlin Heidelberg New York 1981

Rogge, D. und O. Trentz: Möglichkeiten und Grenzen der allogenen Spongiosatransplantation. In: Implantate und Transplantate in der Plastischen und Wiederherstellungschirurgie. 17. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Plastische und Wiederherstellungschirurgie 1979. Hrsg. Cotta H. und A.K. Martini. Springer, Berlin Heidelberg New York 1981

Russell, P.S. und A.P. Monaco: The Biology of Tissue Transplantation. Little, Brown and Co, Boston 1965

Salama, R.: Xenogeneic Bone Grafting in Humans. Clin. Orthop. 174, 113-121 (1983)

Sárváry, A. und G. Berentey: Die Behandlung von Defektpseudarthrosen mit "autologisierter" heterologer Spongiosa. Akt. Traumatol. 11, 228-23o (1981)

Saxer, U. und F. Magerl: Komplikationen nach Spanentnahme aus dem Beckenkamm. Helv. Chir. Acta 41, 251-255 (1974)

Schramm, W.: Klinische und experimentelle Untersuchungen über die Transplantation autoplastischer Spongiosa. Hefte Unfallheilk. 1o4 (197o)

Schweiberer, L.: Experimentelle Untersuchungen von Knochentransplantaten mit unveränderter und mit denaturierter Knochengrundsubstanz. Hefte Unfallheilk. 1o3 (197o)

Schweiberer, L.: Neuere Ergebnisse zur Knochenregeneration und ihre klinische Bedeutung. Langenbecks Arch. klin. Chir. 329, 986-996 (1971) a

Schweiberer, L.: Der heutige Stand der Knochentransplantation. Chirurg 42, 252-257 (1971) b

Schweiberer, L.: Theoretisch-experimentelle Grundlagen der autologen Spongiosatransplantation im Infekt. Unfallheilk. 79, 151-155 (1976)

Schweiberer, L., R. Brenneisen, L.T. Dambe, F. Eitel und L. Zwank: Derzeitiger Stand der auto-, hetero- und homoplastischen Knochentransplantation. In: Implantate und Transplantate in der Plastischen und Wiederherstellungschirurgie. 17. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Plastische und Wiederherstellungschirurgie 1979. Hrsg. Cotta, H. und A.K. Martini. Springer, Berlin Heidelberg New York, 1981

Schweiberer, L., F. Eitel und A. Betz: Spongiosatransplantation. Chirurg 53, 195-2oo (1982)

Sieber, E.: Biochemische Untersuchungen an konserviertem Knochengewebe. Zbl. Chir. 81, 538-544 (1956)

Spring, R. und R. Marti: Homologe Spongiosaplastik mit Femurköpfen. Helv. chir. Acta 42, 421-426 (1975)

Stringa, G. und G. Mignani: Microradiographic Investigation of Bone Grafts in Man. Acta orthop. Scand. Suppl. 99 (1967)

Thielemann, F.: Vitalitätsbestimmung im konservierten Knochengewebe. Eine Methode zum Vergleich der biologischen Wertigkeit von unterschiedlich konserviertem Knochengewebe. Inaugural-Dissertation Universität Tübingen 1977

Trüb, C.L. Paul: Heilige und Krankheit.
Geschichte und Gesellschaft, Band 19,
Hrsg.: Seibt F. und A. Timm,
Klett-Cotta, Stuttgart 1979

Tomford, W.W., S.H. Doppelt, H.J. Mankin und G.E. Friedlaender: 1983 Bone Bank Procedures.
Clin. Orthop. 174, 15-21 (1983)

Urist, M.R.: The Substratum for Bone Morphogenesis.
Developmental Biology Suppl. 4, 125-163 (197o)

Urist, M.R., A. Mikulski, S.D. Boyd: A Chemosterilized Antigen-Extracted Autodigested Alloimplant for Bone Banks. Arch. Surg. 11o, 416-428 (1975)

Urist, M.R.: Bone Transplants and Implants.
In: Fundamental and Clinical Bone Physiology.
Hrsg. Urist, M.R. Lippincott Philadelphia,
198o

Urist, M.R., R.J. DeLange und G.A.M. Finermann: Bone Cell Differentiation and Growth Factors.
Science 22o, 68o-686 (1983)

Veihelmann, D.: Einrichtung und Betrieb einer Knochenbank.
Akt. Traumatol. 4, 61-66 (1974)

Veihelmann, D.: Behandlungsrichtlinien für die septische Spongiosatransplantation.
Akt. Traumatol. 5, 21-25 (1975)

Veihelmann, D.: Knochenverpflanzung nach unterschiedlicher Konservierung. Rathgeber, München 1977

Verbeek, O. und M.J. Kingma: Reconstructive Surgery of the Long Bones with Autogenous and Homogenous Grafts. H.E. Stenfert Kroese N.V., Leiden 1973

Vossmann, H.: Knochenspanplastik nach Matti-Russe. Therapie der Wahl bei Kahnbeinpseudarthrosen. Klinikarzt 12, 676-684 (1983)

Weller, S.: Behandlungsprinzipien von Pseudarthrosen. Chirurg 38, 445-448 (1972)

Wilson, P.D.: Experience with a Bone Bank. Ann. Surg. 126, 932-946 (1947)

Zilch, H. und W. Fuchs: Verbessert die Fibrin-Spongiosaplombe die Einheilung der Spongiosa? In: Transplantatlager und Implantatlager bei verschiedenen Operationsverfahren. 16. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Plastische und Wiederherstellungschirurgie 1978. Hrsg. Hierholzer, G. und H. Zilch. Springer, Berlin Heidelberg New York 198o

2o. Anhang 1 (Erhebungsbogen)

Name _____

Geburtstag/Alter/Geschlecht _____

Röntgen Nummer _____

Operationstag _____

Indikationen:

Fraktur mit Defektbildung _____

Trümmerfraktur _____

bei verzögerter Heilung _____

pathologische Fraktur _____

Tumoren maligne _____

benigne _____

Zysten _____

Kontinuitätsresektion _____

Metastasen _____

Pseudarthrosen Defekt-P. _____

hypertrophe P. _____

atrophe P. _____

Korrektureingriff/Osteotomie _____

Verlängerung/Achse/Rotation _____

Arthrodese _____

Osteomyelitis _____

Ausräumung/Infektpseudarthrose _____

Sonstiges _____

Lokalisation:

Clavicula _____
Humerus _____
Radius/Ulna _____
Hand _____
Os scaphoideum _____
Hüfte _____
Femur/Schenkelhals _____
Tibia _____
Fibula _____
Fuß _____
Sonstige _____

Entnahmestelle:

Beckenkamm vorn/hinten _____
Trochanter _____
Tibiakopf _____
Rippentransplantat _____
Sonstiges _____

Allogen (Bank) _____

Kombination autogen/allogen _____

Anlagerungsart und Funktion:

Spongiosablock _____
Bröckel/Chips _____
kortikospongiöser Span/Keil _____

Funktion: Defektausfüllung _____
plattenferne Abstützung _____
Gelenkflächen-Abstützung _____
Revitalisierung _____
Verriegelung/Bolzung _____
Kontinuitätsüberbrückung _____

Stabilisierungsart:

Platten-Osteosynthese _____
Fixateur externe _____
Spickdrähte _____
Marknagel _____
Sonstiges _____
keine Fixation _____

Zusätzliche therapeutische Maßnahmen:

Fixierende Verbände _____
Ruhigstellung _____
Krankengymnastik _____
Saugdrainage _____
Sonstiges _____

Vorbehandlung:

konservative Frakturbehandlung _____
Osteosynthese _____
Saug-Spüldrainage _____
Sonstiges _____

BSG bei septischen Operationen _____

Komplikationen:

Entnahmestelle Hämatom _____
Infektion _____
Nervenschädigung _____
keine _____

Lager Hämatom _____
Infektion _____
Reinfekt bei septischen _____
Materiallockerung/-bruch _____
Sonstige _____
keine _____

Wiederholungsoperationen notwendig (Anzahl) _____

Ergebnisse (klinisch):

volle Belastung nach Op. _____
teilweise Belastung nach Op. _____
keine Belastung nach Op. _____

Pseudarthrose _____
Amputation _____
verstorben (Ursache) _____
Fistel _____
subjektive Beschwerden (Art) _____
ME Zeitpunkt _____
Dauer stationäre Behandlung _____
Dauer der Nachbehandlung _____
MdE _____

Einheilungsphasen im Röntgenbild:

Zeitpunkt Revaskularisierung _____
Zeitpunkt Einheilungsbeginn _____
Zeitpunkt Beginn des funktionellen Umbaus _____
Zeitpunkt Abschluß des Einbaus _____

teilweise eingebaut _____
nicht eingebaut _____
resorbiert (ganz/teilweise) _____
Sonstiges _____

EBERHARD-KARLS-UNIVERSITÄT TÜBINGEN
CHIRURGISCHE KLINIK
ABTEILUNG FÜR ALLGEMEINE CHIRURGIE
U. UNFALL-CHIRURGIE MIT POLIKLINIK
ÄRZTL. DIREKTOR: PROF. DR. L. KOSLOWSKI

7400 TÜBINGEN,
CALWERSTRASSE 7
SEKRETARIAT TEL. (07071) 296620
POLIKLINIK TEL. (07071) 296682 / 296683
VERMITTLUNG (07071) 296611
Prof.Veihelmann/Weidle

Herrn Dr. med.

Sehr geehrter Herr Kollege!

Im Rahmen einer Nachuntersuchung von Patienten, bei denen wir eine Spongiosatransplantation durchgeführt haben, möchten wir Sie um Ihre freundliche Mithilfe bitten. Nach unseren Unterlagen erfolgte die Weiterbehandlung des Patienten

geb. am

Diagnose: aus unserer stat. Behandlg. entlassen:

durch Sie. Falls aus Ihren Unterlagen ersichtlich, bitten wir Sie um folgende Auskünfte:

- Abnahme des Gipsverbandes: _____
- Beginn der Teilbelastung: _____
- Beginn der Vollbelastung: _____
- Eintritt der Arbeitsfähigkeit: _____
- Zeitpunkt der Metallentfernung: _____
- Zurückbleibende Beschwerden und eventuelle MdE: _____

_____

Für die kurzfristige Überlassung von bei Ihnen vorhandenen Röntgenbildern über den weiteren Verlauf wären wir ebenso dankbar.

Wir danken Ihnen im voraus für Ihre Bemühungen und bitten Sie um Rücksendung in dem beiliegenden Freiumschlag.

Mit freundlichen Grüßen

gez. Prof. Veihelmann

Herrn Professor Dr. D. Veihelmann danke ich herzlich für die Überlassung des Themas und seine Unterstützung im Rahmen dieser Dissertation.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Dr. F. Thielemann für seine freundliche Unterstützung und zahlreiche Diskussionen im Verlauf der gesamten Arbeit.

Heinz Eppenich danke ich für Korrekturlesung und Interpunktions-Konsilium.

Lebenslauf

Am 5.6.1954 wurde ich, Bernhard Weidle, in Laiz, Kreis Sigmaringen, geboren. Meine Eltern sind der Maschinenbau-Ingenieur Georg Weidle und seine Ehefrau Rosa Weidle, geborene Mayer.

Von 1961 bis 1965 besuchte ich die Volksschule in Laiz. Danach wechselte ich auf den humanistischen Zweig des Staatlichen Gymnasiums Sigmaringen über, wo ich 1973 das Abitur ablegte.

Von Januar 1974 bis Juni 1975 leistete ich einen sozialen Friedensdienst im Rahmen der Aktion Sühnezeichen-Friedensdienste ab, in einem Heim der Geistigbehinderten-Fürsorge der Stadt Oslo in Nes på Hedmark (Norwegen).

Von Dezember 1975 bis zur Aufnahme des Medizinstudiums arbeitete ich als Pflegehelfer im Sunnaas-Krankenhaus, einem Rehabilitationskrankenhaus für Körperbehinderte in Nesoddtangen (Norwegen).

1976 nahm ich das Studium der Medizin in Tübingen auf.
Praktisches Jahr in Bad Cannstatt und Tübingen.
Seit Sommersemester 198o Studium der Ethnologie.
Am 25.4.1983 bestand ich in Cannstatt mit dem dritten Abschnitt der ärztlichen Prüfung das Medizinische Staatsexamen.

Offsetdruck Spengler
Lessingstraße 4 · 7401 Neustetten 1
Telefon (0 74 72) 2 21 45